m_amte.MASE.REGISTRO UFFICIALE.ENTRATA.0117764.04-06-2026

Spett.le Ministero,
in qualità di cittadino interessato per ragioni di prossimità territoriale, presento formali osservazioni in merito allo Studio di Impatto Ambientale VIA per il progetto di Data Center di Lacchiarella, codice VIAVIA100000065, Codice di procedura 13535, proponente APTO Italia S.r.l.
Rimango a disposizione per eventuali richieste di chiarimenti, osservazioni o richieste di audizioni.
Grazie.
Sergio Manera

AL MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Direzione Generale Valutazioni Ambientali (VA)

Invio tramite PEC all'indirizzo: va@pec.mase.gov.it

MODULO PER L'INVIO DI OSSERVAZIONI (Art. 24 del D.Lgs. 152/2006)

ALLEGATO 2 m_amte.MASE.REGISTRO UFFICIALE.ENTRATA.0117764.04-06-2026

1. DATI IDENTIFICATIVI DEL PROGETTO

- **Codice Procedura (ID_VIP):** 13535
- **Codice Istanza Online:** VIAVIA100000065
- **Procedura:** Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) Statale
- **Titolo Progetto:** Realizzazione di un nuovo Data Center ubicato nel comune di Lacchiarella - Installazione di generatori di emergenza di potenza termica superiore a 150 MWth (Pt=1.010 MW)
- **Proponente:** Apto Italia S.r.l.

2. DATI IDENTIFICATIVI DELL'OSSERVANTE

- **Nome e Cognome / Ragione Sociale:** Sergio Manera
- **Codice Fiscale / P.IVA**
- **Indirizzo di Residenza/Sed**
- **Domicilio Digitale (PEC):**

---

3. OGGETTO E TESTO DELL'OSSERVAZIONE

Il sottoscritto, in qualità di cittadino e soggetto interessato per ragioni di prossimità territoriale, presenta formale osservazione in merito allo Studio di Impatto Ambientale (SIA) depositato per il progetto in epigrafe, evidenziando le seguenti gravi carenze e criticità tecniche riscontrate nei documenti progettuali:

Criticità n. 1: Mancanza della valutazione quantitativa sull'Impatto Termico (Dispersione del calore)

Si rileva una palese carenza documentale nel SIA in merito alla valutazione degli effetti termodinamici generati dal sistema critico di raffreddamento dell'infrastruttura. Sebbene il **Paragrafo 3.3.7.1** ("Impianto di raffreddamento critico") e il **Paragrafo 3.6.2.1** descrivano le componenti tecniche e l'impatto acustico dei *Chiller* posizionati sui tetti degli edifici, il documento **omette completamente** una modellizzazione matematica o uno studio d'impatto sul calore sensibile costantemente rilasciato in atmosfera da tali impianti.

Il fenomeno dell'aumento termico locale viene unicamente menzionato nel **Paragrafo 10.2.6** ("Mitigazione dell'isola di calore") in riferimento alla sola impermeabilizzazione del suolo (asfalto e cementificazione), senza stimare in alcun modo l'innalzamento termico dell'aria circostante

(microclima e "pennacchio di calore") causato dall'attività continua dei vettori energetici e termici del datacenter.

Criticità n. 2: Insufficienza dei modelli predittivi utilizzati (Appendice 1)

Come verificabile nell'Appendice 1 del SIA (Metodi di previsione), gli unici software di simulazione impiegati dall'ingegneria di progetto risultano essere *CALPUFF* (utilizzato esclusivamente per la dispersione chimica dei fumi dei 160 generatori di emergenza) e *CADNA-A* (utilizzato per la sola propagazione dell'inquinamento acustico).

Non è stato adottato alcun modello microclimatico o fluido-dinamico atto a garantire che la massiccia e costante dissipazione termica dei Chiller non alteri significativamente il microclima delle aree agricole e dei recettori sensibili limitrofi, con potenziali ripercussioni sugli ecosistemi locali della Pianura padana interessata.

Deposito di documentazione tecnica e risultanze pubbliche a supporto

A supporto e integrazione della presente osservazione, si deposita formalmente un **documento tecnico indipendente di calcolo e modellizzazione del calore rilasciato**, atto a dimostrare la fattibilità e la necessità di analisi fluido-dinamiche per questa tipologia di impianti.

Si allega altresì la **presentazione in formato slides (PDF)** illustrata e discussa dal sottoscritto durante l'assemblea pubblica tenutasi a Lacchiarella in data 29 maggio 2026, la quale testimonia l'interesse, la partecipazione e la forte preoccupazione della cittadinanza locale in merito agli impatti microclimatici qui denunciati.

Il sottoscritto si rende disponibile, previo avviso di convocazione, ad una audizione avente lo scopo di affrontare ulteriori dettagli tecnici in riferimento alla metodologia di calcolo proposta.

Conclusioni e Richieste

Si richiede pertanto all'Autorità Competente (MASE) di acquisire agli atti la documentazione tecnica prodotta e di disporre una **richiesta di integrazioni formale** al Proponente ai sensi di legge, vincolandone l'eventuale approvazione alla redazione di uno studio analitico d'impatto termico atmosferico che quantifichi l'esatta dispersione di calore dei Chiller e i relativi effetti mitigativi.

---

4. ELENCO ALLEGATI

1. **Allegato 1:** Modulo Dati Personali e Privacy.
2. **Allegato 2:** Copia del documento di identità in corso di validità.
3. **Allegato 3:** Documento tecnico di calcolo e modellizzazione della dispersione del calore da data center.
4. **Allegato 4:** Presentazione (Slides PDF) utilizzata nell'assemblea pubblica a Lacchiarella del 29 maggio 2026.

Luogo e Data: Certosa di Pavia (PV), 4 giugno 2026

Firma dell'osservante: Sergio Monarca

Data Center da 288MW
Dispersione di calore - Lacchiarella (MI)
(Sergio Manera - fisico)

Indice

1. **Premessa e scopo del documento**
2. **Il tema delle isole di calore**
3. **Energia e termodinamica**
4. **Stima della densità termica superficiale**
5. **Stima della portata d'aria di espulsione**
6. **Modellistiche di dispersione dall'edificio - Pasquill-Gifford**
7. **Fenomeno di inversione termica in pianura padana**
8. **Dati di letteratura (studio Cambridge)**
9. **Calcolo in stasi di vento (Worst Case)**
10. **Calcolo con vento da NW a 2 m/s (direzione e venti prevalenti) e poi 5 m/s e 10 m/s**
11. **Cosa fare del calore?**
12. **La situazione sta cambiando (2025-2026)**
13. **Mitigazione e recupero del calore**
14. **Quante abitazioni si possono scaldare?**
15. **Cosa si risponde alle seguenti osservazioni?**

1. Premessa e scopo del documento

Questo documento è stato elaborato per gli scopi sinteticamente elencati di seguito:

- ✓ per essere consegnato come "le osservazioni di un cittadino" in merito al progetto di Data Center di Lacchiarella.
- ✓ per fornire un quadro complessivo del problema della dispersione del calore da queste infrastrutture e per rendere disponibile una semplice metodica di calcolo, in attesa che siano disponibili software specifici.
- ✓ per fissare concetti importanti in merito alla dispersione di calore per il quale il proponente del progetto ha scelto il "raffreddamento ad aria" come modalità di rimozione del calore di produzione.
- ✓ per fornire risposte a quanti avvertono stupore per l'assenza di valutazioni qualitative e non quantitative di dispersione dell'enorme quantità di energia termica prodotta da strutture fortemente energivore.

2. Il tema delle isole di calore

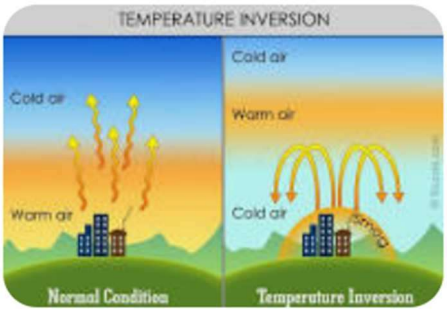
Confutare le affermazioni sbagliate

Si vuole dare una risposta ad affermazioni erronee del tipo: "***l'impatto ambientale è nullo perché il calore espulso dai ventilatori va in alto e si disperde in atmosfera senza effetti sull'ambiente circostante***".

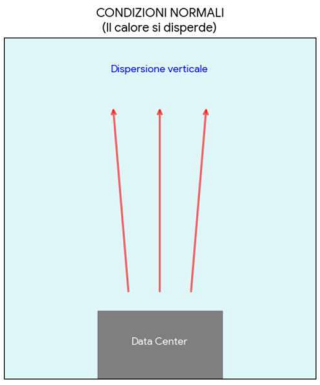
Poiché espressioni di questo tipo sono abbastanza comuni per i non addetti ai lavori, si ritiene necessario argomentare le ragioni per le quali l'affermazione stessa è falsa, profondamente erronea, nonché incauta in sede di valutazione preventiva del rischio (per quanto piccolo, marginale o trascurabile, un qualsiasi impatto di un fattore di rischio non può mai essere dichiarato nullo).

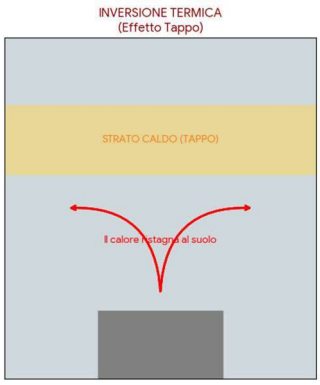
Le città sono isole di calore (un esempio sotto gli occhi di tutti)

Per introdurre l'argomento con un esempio di facile riscontro per ciascuno di noi, si parte dalla seguente espressione: "**Se il calore sparisse perché va in alto, le città non sarebbero più calde delle campagne, sia di giorno con insolazione diretta, sia di notte**" con emissione di calore da parte di asfalto, cemento e altri corpi riscaldati per ragioni antropiche. Viceversa, si registrano generalmente 3-4 gradi di differenza (città più calde, campagne più fresche) sia in estate, sia in inverno. L'aria più calda in città è persistente nel normale ciclo giorno/notte perché i fenomeni di irraggiamento e convezione di calore riscaldano tutto l'ambiente circostante (suolo, pareti degli edifici, anche la vegetazione). Il calore non sparisce nel nulla, infatti, prima di dissiparsi negli strati alti dell'atmosfera, dovrebbe riuscire ad attraversare con sufficiente spinta fluidodinamica l'aria che respiriamo. Ciò non si realizza con bassi gradienti termici, cioè quando la temperatura dell'aria calda in risalita non è elevata rispetto alla temperatura dell'aria soprastante. Inoltre, in una zona come la pianura padana, fenomeni come l'inversione termica agiscono come un soffitto a bassa quota (50-150 m), intrappolando l'eccesso di calore cittadino (ma anche quei 288 MW provenienti dal DC) vicino al suolo, causando una variazione significativa del microclima locale, per centinaia di metri di distanza dal punto di espulsione. Dunque, quello che succede al calore e all'aria calda è proprio questo: al posto di muoversi verso l'alto e disperdersi, essa tende a galleggiare senza una vera spinta idrostatica (Archimede, galleggiamento neutro) finendo per spostarsi lateralmente e disperdersi lentamente a livello del suolo e nei primi 10-20 metri di quota.



Inversion phenomenon
Pinterest





I numeri dell'irraggiamento solare alle nostre latitudini

Nel caso di città/campagna, si sta considerando come fonte di calore solamente l'irraggiamento diretto del sole (non gli impianti di riscaldamento, il traffico di veicoli, etc.) che a livello del suolo (superficie piana e non inclinata) trasmette una energia termica media giornaliera su base annua di 3,6 kWh/m^2 alle nostre latitudini. L'irradiazione solare raggiunge i suoi massimi a luglio con una potenza media di circa 400 W/m^2 e una potenza di picco (quando il sole è allo zenit) di circa 1000 W/m^2.

3. Energia e termodinamica

Il progetto di data center hyperscale di Lacchiarella prevede la costruzione di cinque5 edifici contenenti server. Gli edifici S1 e S2 di potenza 36 MW, gli edifici S3, S4 e S5 di potenza 72 MW, per una potenza totale di server pari a 288 MW, cui corrisponde una potenza termica legata ai generatori di backup di 1010 MW$_{th}$. La potenza termica che un Data Center deve dissipare è quasi identica alla potenza elettrica assorbita (cioè 288 MW). A ciò conduce direttamente il Primo Principio della Termodinamica (***L'energia interna di un sistema termodinamico isolato è costante***). Infatti, l'energia si conserva e

$$\Delta U = Q - L$$

ma poiché i server non compiono lavoro meccanico e non immagazzinano energia chimica, ne deriva che tutta l'energia va in calore. A ciò si deve aggiungere il parametro di efficienza energetica dell'impianto (PUE) che rende conto anche del calore prodotto da altre fonti (sistemi di raffreddamento, sistemi di continuità, trasformatori, illuminazione, etc. Un impianto ben realizzato ha PUE di circa 1,2-1,4, il che significa che la potenza termica è nel nostro caso **374,4 MW** mediamente. Infatti, Lacchiarella dichiara un PUE di 1,3. Il calcolo del calore disperso verrà fatto su questo parametro.

La dispersione del calore verso l'esterno non riguarda solo l'efficienza interna legata alla produttività digitale, ma ha un impatto diretto sul microclima dell'ambiente circostante l'edificio o il complesso di edifici in caso di strutture modulari. Attraverso modellistiche di dispersione, si possono analizzare le modalità con cui l'energia termica lascia l'edificio e si propaga nell'atmosfera circostante, raggiunge i ricettori attorno all'infrastruttura e se ne possono studiare gli effetti. Il calore disperso verrà presentato non in forma di energia ma in forma di eccesso di temperatura rispetto alla temperatura dell'ambiente circostante.

Per un Data Center da 374,4 MW di potenza (server con PUE di 1,3), costruito su una superficie di 75000 metri quadrati, la dispersione termica può essere valutata attraverso indicatori di densità e portata dell'aria.

4. Stima della densità termica superficiale

La densità termica superficiale, espressa in W/m^2, indica quanto calore viene rilasciato per ogni metro quadrato di suolo occupato, ovvero per ogni metro quadrato di tetto degli edifici del Data Center. Questo parametro si calcola facilmente:

Densità = [potenza termica (W)/Superficie (m^2)] = [374400000 W / 75000 m^2] = **4992 W/m²**

Per farci un'idea, questo valore di densità termica superficiale è circa 100 volte superiore alla densità di calore antropico (cioè l'apporto di caldaie, auto, industrie) di un centro città densamente popolato (es. il centro di Milano) che è tipicamente 50-100 W/m^2 ed è anche maggiore dell'energia termica di origine solare (paragrafo 2). L'edificio del Data Center agisce dunque come una superficie rovente, una "*super isola di calore*" concentrata.

Il confronto con i dati fisici dell'irraggiamento solare locale (Paragrafo 2) evidenzia l'anomalia del progetto: mentre il sole a luglio trasferisce al suolo una potenza di picco istantanea di **1000 W/m²** (che si azzera totalmente nelle ore notturne), la piastra radiante artificiale del Data Center immetterà una densità termica continua e fissa di **4.992 W/m²**, attiva 24 ore al giorno, 365 giorni l'anno.
Questo significa che il Data Center esporrà il microclima locale a un carico termico costante che è **cinque volte superiore al picco massimo del sole estivo a mezzogiorno**, con l'aggravante che tale immissione forzata avverrà anche di notte, proprio durante le ore di massima stabilità e inversione atmosferica, impedendo qualsiasi ciclo naturale di raffreddamento radiativo del territorio.

5. Stima della portata d'aria di espulsione

Per dissipare 374,4 MW di calore esclusivamente con espulsione di aria calda verso l'alto, il sistema di Chiller (il progetto ne prevede 250 complessivi sui tetti dei cinque edifici) deve muovere volumi importanti di aria esterna all'edificio. Assumendo un salto termico ΔT tipico di 12 gradi centigradi tra ingresso e uscita si ha la seguente relazione:

$$V = \text{Potenza} / (\rho * c_p * \Delta T) = 3{,}744\ 10^8\ W / (1{,}2\ kg/m^3 * 1005\ Joule/(kg*K) * 12\ K) = 25870\ m^3/s$$

con il seguente significato dei parametri utilizzati sopra:
ρ = è la densità dell'aria pari a 1,2 kg/m^3 a 15 °C al livello del mare.
c_p= è il calore specifico dell'aria secca a pressione costante, ovvero la quantità di calore necessaria per innalzare la temperatura di 1 kg di aria di 1 grado Kelvin (o centigrado) mantenendo la pressione invariata e ha un valore standard di 1005 Joule/(kg*K), valido per aria secca a 25 °C.

In merito alle scelte numeriche dei parametri sopra riportati, si precisa quanto segue per evitare fraintendimenti nella scelta della temperatura di riferimento:

- ρ è la **densità dell'aria assunta pari a 1,20 kg/m³**, valore che mappa accuratamente la densità dell'aria ambiente alla temperatura operativa di riferimento di circa **20-21 °C** (intermedia tra lo standard stagionale e la temperatura di ingresso ai sistemi di ventilazione).

- c_p è il **calore specifico dell'aria secca** pari a **1005 Joule/(kg·K)**, valore termodinamicamente stabile e standard per l'intervallo di temperatura operativa del sistema (15 °C - 25 °C).

La scelta di questi parametri a temperature standard di riferimento (15-25 °C) garantisce la massima solidità del calcolo, poiché le minime variazioni millesimali di ρ e c_p in questo range non alterano l'ordine di grandezza della portata volumetrica calcolata, confermando l'enorme volume d'aria processato dal comparto Chiller.

Dunque, vengono espulsi 25870 m^3/s di aria calda dai ventilatori posti sul tetto dei 5 edifici del DC. Questa portata crea una piuma (italianizzazione del termine inglese *plume*) termica che, in assenza di vento, può innalzare la temperatura locale dell'aria di diversi gradi centigradi fino ad una distanza di 1 km dal punto di espulsione. Valuteremo meglio questi parametri in seguito. A corollario di quanto detto, si hanno i seguenti effetti:

- microclima: l'immissione in aria di questo quantitativo di aria calda può alterare i cicli biologici della vegetazione circostante (ad es. fioriture precoci, essicazioni estive) e aumentare il disagio termico pedonale.
- rischio di cortocircuito termico: data l'estensione di 75000 m^2, se le prese d'aria fredda non sono posizionate correttamente rispetto ai camini di espulsione, oppure in presenza di moti turbolenti di aria calda attorno all'edificio, parte dei 374,4 MW espulsi verrà aspirata nuovamente dal sistema, peggiorando l'efficienza termica del processo (maggiori consumi elettrici e maggiori costi operativi).
- dissipazione dell'involucro: circa il 95-98% del calore sarà espulso dai ventilatori, ma una piccola parte del calore raggiungerà le pareti dell'edificio riscaldandone e causando un ulteriore irraggiamento termico verso l'esterno.

6. Modellistiche di dispersione dall'edificio - Pasquill-Gifford

Per simulare come il calore esce dalla struttura, si utilizzano modelli che integrano la fisica dell'edificio con l'ambiente esterno:

- **Fluidodinamica computazionale**: è uno strumento utilizzato per mappare le **piume termiche** emesse da sistemi di espulsione del tipo di chiller, dry coolers e anche torri di raffreddamento. Questo tipo di modelli considerano:
  - **Condizioni meteo reali**: direzione e velocità dei venti prevalenti, irraggiamento solare e umidità (i dati per la Provincia di Milano limitrofa alla provincia di Pavia ben noti e robusti).
  - **Informazioni di morfologia urbana**: sono i parametri degli edifici adiacenti o della topografia adiacente che si comportano come deviatori del calore.
- **Modelli a zone e accoppiamento termico**: sono modelli che analizzano la dispersione attraverso l'involucro edilizio (pareti, tetti). Sebbene la maggior parte del calore sia espulsa forzatamente dai ventilatori, una quota minore si disperde per conduzione e irraggiamento dalle superfici dell'edificio (circa il 5%).
- **Modelli di risalita della piuma**: sono utilizzati per calcolare quanto in alto e quanto lontano viaggerà l'aria calda prima di dissiparsi completamente, influenzando la qualità dell'aria e la temperatura a livello locale del piano di campagna.

Per questo studio si è fatto uso di un modello non recente di calcolo della dispersione termica intesa come eccesso di temperatura a distanza nota proveniente dall'aria calda espulsa dalla sorgente. Il metodo è denominato Pasquill-Gifford ed è una metodica con la quale si calcolano facilmente le

piume di dispersioni di inquinanti da una ciminiera, un metodo semplice perché assimila le piume di dispersione a curve gaussiane di facile parametrizzazione e calcolo. Il metodo è solido e, nel mio caso, lo utilizzo da trent'anni per le valutazioni di dispersioni di inquinanti radioattivi per gli studi legati ai piani di emergenza nucleari e radiologici. La modellizzazione della sorgente data center sarà presentata nel paragrafo 9 con le importanti ipotesi al contorno per risolvere la discrepanza tra un rilascio da una singola ciminiera rispetto al rilascio da 250 ciminiere su uno stesso tetto.

7. Fenomeno di inversione termica in pianura padana

Lacchiarella è situata nel cuore della pianura padana ed è soggetta a frequenti inversioni termiche. L'effetto ha luogo a causa del raffreddamento notturno del suolo ed è quindi di tipo radiativo. Quanto incide questo fenomeno in termini di ore/anno? La stima è circa il 35-45% e rende conto di una certa variabilità locale e stagionale. Il fenomeno è profondamente diverso tra le stagioni di solstizio estate e inverno, ed è meno marcato nelle stagioni intermedie, vediamo come:

- Estate: l'inversione termica è prevalentemente notturna sino a dopo l'alba ed è legata al forte riscaldamento/raffreddamento del suolo in presenza di radiazione solare.
- Inverno: la frequenza di inversione termica è più alta e interessa il 70-80% delle notti ma può persistere anche per l'intera giornata (è il caso delle giornate invernali con nebbia persistente sino al pomeriggio).
- primavera e autunno hanno comportamenti intermedi in funzione delle condizioni meteo locale.
- Il fenomeno, senza variazioni significative, riguarda l'intera pianura padana sino alle Prealpi a nord e agli Appennini a sud.

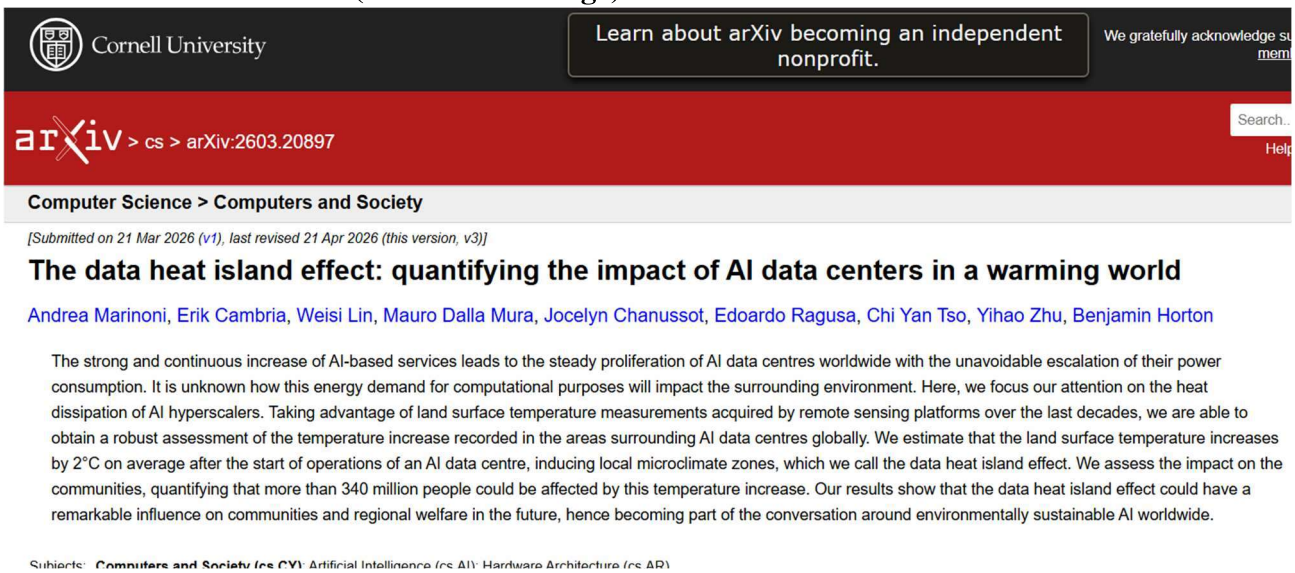
Nella tabella sotto riportata si sintetizza il fenomeno.

Intervallo orario	**Frequenza inversione**	**Effetto dell'inversione termica sulla dispersione di calore dal Data Center**
22:00 - 07:00	Alta: > 90% in inverno, più bassa in estate (< 45%)	L'inversione termica agisce da "tappo" e il calore del DC non riesce a salire espandendosi orizzontalmente a bassissima quota (superficiale), saturando il microclima locale.
09:00 - 17:00	Bassa: < 30% in inverno e nulla in estate	La rottura del "tappo" di inversione termica è garantita dalla veloce risalita di aria calda che si origina dal riscaldamento radiativo solare a suolo. In questi casi la piuma termica del DC segue il moto convettivo di origine solare.
Alba	Transizione	È la fase critica in cui l'inversione si rompe causando fluttuazioni rapide. La piuma termica del DC segue i flussi d'aria locali
Tramonto	Transizione	È la fase critica in cui l'inversione si forma arrestando le fluttuazioni rapide legate ai flussi d'aria locali.

È possibile visualizzare l'effetto dell'inversione termica in questa fotografia:

Si tratta di un'alba tardo autunnale o invernale in cui si evidenzia il blocco atmosferico (**stabilità**). Infatti, la nebbia piatta e la brina dimostrano che l'atmosfera sopra al suolo è in uno stato di massima stabilità (che corrisponde alle classi di stabilità atmosferica E-F secondo Pasquill-Gifford). L'aria è un blocco di ghiaccio e umidità stratificato che non si muove verticalmente. In questo scenario di equilibrio naturale delicatissimo, il DC immetterà forzatamente 374,4 MW di calore continuo tramite i Chiller sul tetto. Cosa succederà? **Quel calore non potrà salire perché la nebbia e l'inversione termica fanno da tappo**. Il calore scioglierà la brina circostante, alterando il ciclo biologico notturno dei campi e creando una bolla di microclima caldo e artificiale, ostile all'agricoltura locale.

8. Dati di letteratura (studio Cambridge)



Cornell University

Learn about arXiv becoming an independent nonprofit.

We gratefully acknowledge su
mem

arXiv > cs > arXiv:2603.20897

Search...
Help

Computer Science > Computers and Society

[Submitted on 21 Mar 2026 (v1), last revised 21 Apr 2026 (this version, v3)]

The data heat island effect: quantifying the impact of AI data centers in a warming world

Andrea Marinoni, Erik Cambria, Weisi Lin, Mauro Dalla Mura, Jocelyn Chanussot, Edoardo Ragusa, Chi Yan Tso, Yihao Zhu, Benjamin Horton

The strong and continuous increase of AI-based services leads to the steady proliferation of AI data centres worldwide with the unavoidable escalation of their power consumption. It is unknown how this energy demand for computational purposes will impact the surrounding environment. Here, we focus our attention on the heat dissipation of AI hyperscalers. Taking advantage of land surface temperature measurements acquired by remote sensing platforms over the last decades, we are able to obtain a robust assessment of the temperature increase recorded in the areas surrounding AI data centres globally. We estimate that the land surface temperature increases by 2°C on average after the start of operations of an AI data centre, inducing local microclimate zones, which we call the data heat island effect. We assess the impact on the communities, quantifying that more than 340 million people could be affected by this temperature increase. Our results show that the data heat island effect could have a remarkable influence on communities and regional welfare in the future, hence becoming part of the conversation around environmentally sustainable AI worldwide.

Subjects: **Computers and Society (cs.CY)**; Artificial Intelligence (cs.AI); Hardware Architecture (cs.AR)

Il lavoro sopra riportato è denominato studio Cambridge. Al momento non è ancora un articolo pubblicato su rivista perché è in corso una peer-review, negli ultimi mesi, in pressanti contestazioni e richieste di revisione vista l'importanza e la significatività dei dati riportati.
Si tratta di una ricerca prodotta dall' Earth Observation group dell'Università di Cambridge su 6.000 Data Center Hyperscale. Il fenomeno di incremento delle temperature medie è studiato dallo spazio con immagini IR provenienti da satelliti (NASA e Copernicus) e correzioni dei dati misurati per l'umidità relativa a suolo e nei primi strati dell'atmosfera. Proprio queste correzioni sono oggetto di approfondimento di studio per opera dei revisori. Esse tuttavia, le immagini, dimostrano come cambiano le condizioni ambientali nel raggio di 10 km fornendo dati di misura termica a suolo incrementati mediamente di 2 °C su un'area di raggio 10 km dal data center, con punte sino a 9,1 °C in vicinanza dei data center stessi. Lo studio è guidato da Andrea Marinoni (Laureato e dottorato in ingegneria elettronica presso l'Università di Pavia).
I DC si vedono dall'alto come bolle di calore locale che si propagano fino a diversi chilometri, contribuendo a creare condizioni di maggiore stress termico per le comunità locali. Secondo i ricercatori, oltre **340 milioni di persone** vivono in aree interessate da questo effetto. In un contesto globale già segnato dall'aumento delle temperature e da ondate di calore più frequenti, questo contributo locale può amplificare i rischi per la salute, l'economia e gli ecosistemi.
Allo studio Cambridge sembra anche sia contestato il nesso di causa tra l'incremento di temperatura di pixel di suolo e l'effettiva presenza ad una certa distanza di un data center, ciò specie in contesti antropizzati in cui anche altre fonti di calore antropico potrebbero concorrere ad incrementare i valori misurati.

Sebbene lo studio Cambridge (Marinoni et al., 2026, arXiv: versione v3 - aprile 2026) sia attualmente in fase di completamento della peer-review, i dati preliminari globali su 6.000 macro-infrastrutture indicano un rischio concreto di isola di calore (Data Heat Island Effect - DHIE) con incrementi termici misurati fino a 9,1 °C. L'analogia matematica riscontrata tra le rilevazioni empiriche satellitari di Cambridge e l'applicazione locale del modello analitico di Pasquill-Gifford (che prevede +6,27 °C al centro) costituisce un chiaro indizio di rischio microclimatico. In virtù del **Principio di Precauzione** sancito dal diritto comunitario (Art. 191 del TFUE) e in linea con il recepimento del **D.Lgs 5/2026** (Direttiva EED 2023/1791), **spetta tassativamente al proponente** l'onere della prova scientifica. Il proponente deve presentare una simulazione di Fluidodinamica Computazionale (CFD) tridimensionale, climatologicamente accoppiata con le statistiche locali di inversione termica della Provincia di Milano e limitrofa Provincia di Pavia, per dimostrare l'assenza di impatto termico oppure deve quantificarne la mitigazione, non potendosi considerare il calore un sottoprodotto neutro.

Allo studio Cambridge, con questo lavoro, si proporrà un affiancamento di valutazione preventiva del rischio di dispersione del calore in termini di eccesso di temperatura nella massa d'aria delle piume termica che hanno origine dal data center. Non si tratta di misure ma di calcoli che dovranno essere validati da misure reali (post costruzione?). Si tratta, come già detto, dell'applicazione del metodo Pasquill-Gifford utilizzato per dispersione di inquinanti da una ciminiera. I due metodi non si contraddicono e anzi sembrano proprio essere complementari e compatibili perché il flusso atmosferico della piuma di calore (P-G) genera effetto termico al suolo misurato (C) e rende conto del **nesso causale** del fenomeno. Allo stesso tempo, l'uso del metodo P-G con la sua dispersione di gaussiane d'aria schiacciate nella zona d'aria sottostante all'inversione termica è il metodo ideale per valutazioni di incremento termico nell'aria sino a 20 metri sopra al suolo (trascinamento termico superficiale) e questo può essere legato all'incremento termico al suolo.

Infatti, si evidenzia che l'applicazione del modello analitico di Pasquill-Gifford (modificato per sorgente areale e volumetrica) e le risultanze dello Studio empirico di Cambridge non solo non si contraddicono, ma operano in regime di **piena complementarità fisica (causa-effetto)**.

- **Il modello P-G descrive la dinamica fluidodinamica in aria**: dimostra come l'inversione termica padana confini la piuma convettiva nei primi 20 metri di quota, forzando un trascinamento termico orizzontale e superficiale.
- **Lo Studio di Cambridge descrive l'impatto energetico al suolo**: registra tramite sensori IR l'accumulo di calore indotto proprio da questo persistente flusso d'aria calda sovrastante.

La straordinaria **convergenza quantitativa** tra i due approcci - laddove il calcolo analitico *Worst Case* locale stima un incremento di **+6,27 °C al centro e +1,42 °C medi**, e l'evidenza satellitare globale di Cambridge rileva anomalie medie di **+2 °C con picchi di +9,1 °C** - costituisce una prova robusta della solidità del fenomeno di *isola di calore*.
Tale coerenza metodologica solleva un serio quadro di rischio microclimatico che invalida l'ipotesi di 'impatto nullo'. Essa definisce un chiaro indizio tecnologico che **impone l'onere della prova analitica (tramite simulazione CFD tridimensionale e termicamente accoppiata)** in capo al proponente, come previsto dai disposti del D.Lgs 5/2026 e dal Principio di Precauzione.

9. Calcolo in stasi di vento (Worst Case)

Qui di seguito si propone il calcolo di Worst Case per un DC da 374,4 MW su un'area semi urbana di raggio 5 km centrata attorno al DC stesso. Questo scenario è impostato secondo una **logica di bilancio energetico macroscopico** (Legge di Calorimetria). In fisica ambientale, definire l'estremo superiore (*upper bound*) degli effetti l'esame di questi scenari limite è la procedura standard per la valutazione dei rischi. Infatti, esso risulta, per la severità delle ipotesi considerate che sembrerebbero, ad un primo esame, al limite del credibile, proprio quella valutazione di determinazione dell'estremo superiore dell'effetto prodotto che darà un intervallo completo di efficacia del fenomeno. Le ipotesi spinte risiedono nella permanenza del fenomeno di inversione per 10 ore continuative, e della valutazione del conseguente incremento termico medio su un cilindro di altezza 100 metri (altezza di inversione termica) e raggio 5 chilometri. Perché proprio 5 km? La scelta di questo valore (laddove lo studio Cambridge si spinge sino a 10 km) è dovuta al fatto che questa distanza rappresenta il *punto di flesso geometrico della piuma di Pasquill-Gifford* calcolata nel settore dinamico ed è coerente con il raggio di impatto intermedio rilevato dallo Studio di Cambridge. Per l'altezza di 100 m, il riferimento scientifico è ai dati climatologici standard della Pianura Padana (ARPA Lombardia), che indicano l'altezza della banchisa d'inversione notturna invernale proprio tra i 50 e i 150 metri. Infine, le 10 ore continuative di inversione termica non sono un'astrazione teorica, ma rappresentano la reale durata media della notte climatologica invernale ed estiva alle latitudini della Provincia di Milano e limitrofa Provincia di Pavia. In regime di nebbia persistente invernale, tale fenomeno potrebbe anche estendersi oltre le 24 ore continuative, rendendo l'ipotesi delle 10 ore persino prudenziale!

Tra le condizioni al contorno occorre considerare il concetto di **tappo radiativo dell'umidità e della nebbia.** In presenza di nebbia fitta o alti tassi di umidità relativa (classici dell'inversione padana, le goccioline d'acqua in sospensione agiscono come un **corpo nero** ad altissima opacità ottica nell'infrarosso. Il calore radiativo emesso dal Data Center viene immediatamente riassorbito dall'acqua atmosferica e riemesso verso il basso (effetto serra locale), intrappolando veramente tutta l'energia nel volume di controllo. **L'azzeramento dello scambio radiativo verso lo spazio** è quindi fisicamente accertato dalle proprietà ottiche della nebbia padana e può realisticamente essere trascurato nell'esame di questo Worst Case.

Il risultato del calcolo è il seguente: incremento orario di temperatura stimato 0,142 °C che cumulativamente porta a risultati di +1,42 °C medio sulle 10 ore di inversione standard e nel volume di riferimento. Di seguito i calcoli:

Calcolo: [ipotesi di calcolo H=100 metri, ρ=1,2 kg/m^3, c_p=1006 J/(kg*K)]
-Superficie coinvolta: A = π * r^2 = π * (5000 m)^2 = **78,5 10^6 m^2**.
-Volume d'aria: A * H = **7,85 10^9 m^3**.
-Massa di aria: M = **9,4 10^9 kg**
-Legge di calorimetria: Q = M*c_p*ΔT

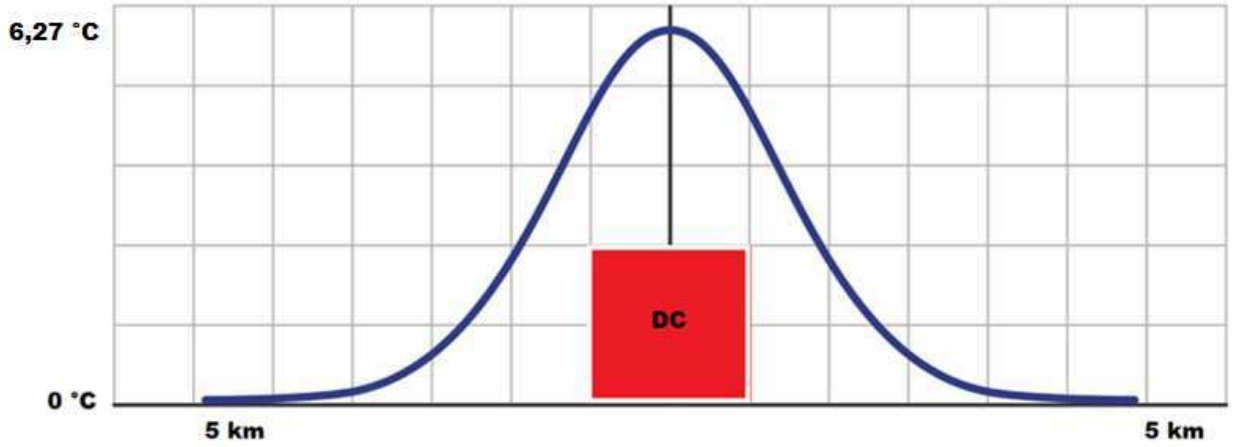
Energia termica immessa in aria in 1h:

U = 1,35 10^{12} Joule (infatti è 374,4 MW = 3,744108 J/s * 3600 s = 1,35 10^{12} J)

Aumento medio orario della temperatura:

ΔTh = U / (M * c_p) = 1,35 10^{12} J / [9,4 10^9 kg * 1006 J/(kg*K)] = **0,142 °K**

Si tratta di un motore termico costante (una stufetta messa all'interno di una serra). Nel volume di riferimento, si avrà un incremento termico medio di +1,42 °C derivante dal permanere dell'inversione per 10 ore. Il calore non sarà distribuito uniformemente sulla distanza da 0 a 5 km e per un'altezza di 100 metri. L'ipotesi più ragionevole che la fisica ci suggerisce è quella di distribuire questo eccesso termico secondo una curva gaussiana centrata sul data center e raccordata a zero a 5 km. Il flesso della gaussiana si troverà ad una distanza di circa 1,7 km. In figura si riporta questo risultato con alcune indicazioni numeriche a distanze note.



Naturalmente tutto questo in una condizione statica, in pratica si avrebbero fenomeni di diffusione turbolenta, mulinelli e vortici d'aria attorno agli edifici, etc. causati dal calore stesso.

Il caso del DC di Lacchiarella (374,4 MW) porterebbe ai seguenti parametri:

+ 6,27 °C al centro
+ 5,23 °C a 1 km
+ 1,9 °C a 3 km
+ 0.2 °C a 5 km
+ 1,42 °C medio sul volume di riferimento

Pur rimanendo un Worst Case con ipotesi molto rigide, non si può non notare la somiglianza dei dati previsti con i risultati dello studio Cambridge (medie di 2 °C con picchi di 9,1 °C). In attesa della validazione di questo calcolo, i risultati preliminari ci dicono che la valutazione puntuale che dovrà essere effettuata del proponente non è solo necessaria, ma è assolutamente doverosa vista l'importanza dei risultati stessi. Infine, questo scenario di Worst Case non descrive un'impossibilità fisica, ma mappa accuratamente la **capacità termica del microclima locale sigillato**. In condizioni di stasi del vento e inversione termica, il Data Center smette di comportarsi come un'infrastruttura aperta e si trasforma a tutti gli effetti in una **stufa industriale accesa h24 all'interno di una serra termicamente isolata**. Poiché l'atmosfera non ha capacità di smaltimento dinamico in queste ore, l'accumulo di calore è un passaggio obbligato dettato dal principio di conservazione dell'energia. L'onere di smentire tale accumulo energetico ricade interamente sulle simulazioni dinamiche che il proponente ha l'obbligo di presentare.

A completamento dell'esame del Worst Case, si dimostra l'impossibilità fisica che l'eccesso termico locale di 6,27 °C possa perforare spontaneamente lo strato d'inversione termica. Tale scenario è termodinamicamente escluso per le seguenti ragioni analitiche:

- **Geometria del Flusso**: i 374,4 MW non sono emessi da una sorgente puntiforme ad alta velocità e temperatura (es. camino industriale), ma frazionati su 250 Chiller distribuiti su un'area di 75.000 m^2. Ciò genera un regime di sorgente areale/volumetrica a basso gradiente termico relativo, dove l'energia cinetica verticale dei ventilatori si dissipa per attrito viscoso entro i primi 15-20 metri di quota, traducendosi in un flusso puramente orizzontale e radiale.
- **Condizione di Galleggiamento Neutro**: l'inversione termica padana invernale (Classi E-F) presenta profili verticali fortemente stabili. La piuma termica diluita, salendo subisce un rapido decadimento della temperatura per miscelazione con l'aria fredda superficiale. Raggiunta la quota d'inversione (50-150 m), la piuma si trova in perfetto equilibrio termico con l'aria soprastante, raggiungendo una condizione di galleggiamento neutro che ne arresta l'ascesa e forza il fenomeno del *fanning* (espansione laterale cronica).
- **Effetto Auto-Stabilizzante**: l'immissione continua di calore sensibile alla base dello strato stabile non indebolisce il "tappo", ma anzi incrementa l'intensità dell'inversione stessa, ispessendo lo strato di stasi atmosferica.

Pertanto, l'ipotesi di un auto-smaltimento verticale per via convettiva è fisicamente esclusa. Il calore immesso rimane confinato nel volume di controllo superficiale, validando lo scenario di Worst Case esaminato.

10. Calcolo con vento da NW a 2 m/s (direzione e venti prevalenti) e poi 5 m/s e 10 m/s

Un vento costante di 2 m/s è classificato come "***bava di vento o brezza leggera***" (classi Beaufort 1-2). In queste condizioni la dispersione del calore non è immediata e la piuma termica tende a mantenere struttura e forma definita. Il calore viene trascinato lateralmente nel settore sottovento, stante comunque il fenomeno di inversione. Si ricorda che la sorgente di calore è costante, senza interruzione tutti i giorni dell'anno, di giorno e di notte. Si ha turbolenza creata dai fattori forma dell'edificio che crea una scia che trascina l'aria calda verso il basso o verso gli edifici circostanti, sempre nel settore sottovento. Questo calore rimane nello strato limite (boundary-layer), cioè la fascia di territorio in cui viviamo noi e la vegetazione. In dettaglio:

- Inclinazione e lunghezza della piuma: (si rammenti la portata d'aria di espulsione complessiva di circa 25870 m^3/s) il vento sposterà la piuma di aria calda verso E-SE (direzione Est) e non salirà verticalmente ma assumerà un'inclinazione diagonale di angolo variabile e ampiezza verticale in distribuzione di gauss attorno al centroide.

- Impatto a suolo: a questa velocità di vento il calore tende a strisciare vicino al suolo o a livello dei tetti degli edifici che incontra. Poiché la direzione e la velocità sono costanti, bisogna considerare volume e massa d'aria del settore sottovento che saranno 1/4 di quanto considerato precedentemente in stasi di vento (90 gradi). L'angolo di 90° rispetto all'asse del vento potrebbe sembrare troppo ampio per un vento costante di 2 m/s. Infatti, nella teoria del trasporto atmosferico, la piuma sottovento si espande tipicamente in un cono molto più stretto (circa 22,5° o 30° per classi di stabilità E-F). Tuttavia, si assume cautelativamente un settore di ampiezza pari a 90° per includere gli effetti di macro-turbolenza e sbandamento della piuma indotti dall'orografia locale e dal transito dinamico, rendendo la stima volumetrica prudenziale rispetto all'effettivo confinamento fisico della piuma.
- L'incremento termico orario deve tener conto dello scorrimento continuo dell'aria che in circa 41 minuti oltrepassa la linea dei 5 km di distanza. Si ha, cioè, una situazione dinamica di transito costante d'aria calda. L'aria locale potrebbe subire un incremento termico riportato in grafico/tabella. Si replica facilmente con incremento della velocità del vento a 5 m/s e 10 m/s.

Distanza dal DC (metri)	**Incremento T (° K) 2 m/s**	**Incremento T (° K) 5 m/s**	**Incremento T (° K) 10 m/s**
100	5,20	2,08	1,04
500	4,16	1,66	0,83
1000	3,12	1,25	0,62
2000	1,94	0,78	0,39
3000	1,38	0,55	0,28
5000	0,88	0,35	0,18

Tabella: incremento termico a distanze note.

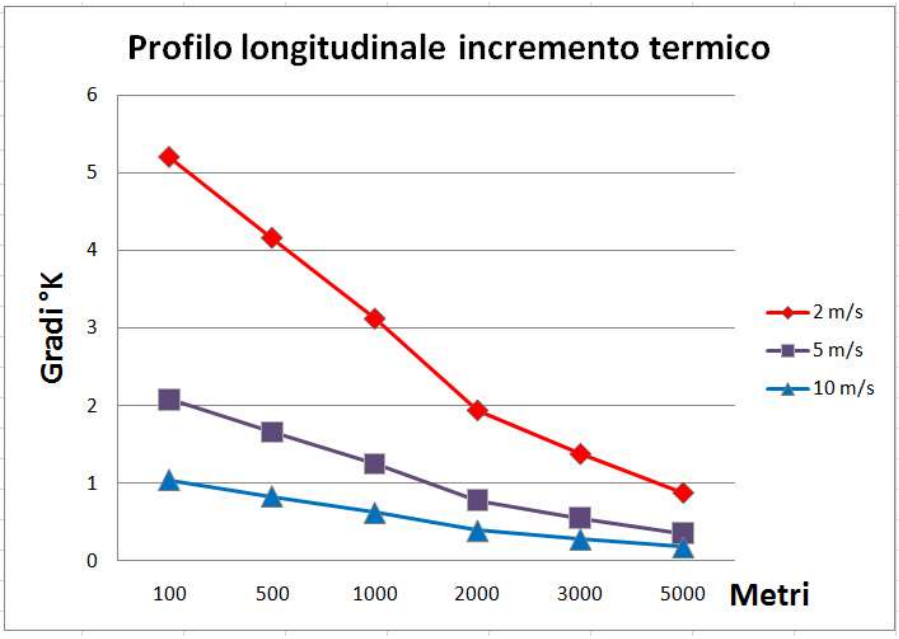


Figura: Andamento grafico profilo termico.

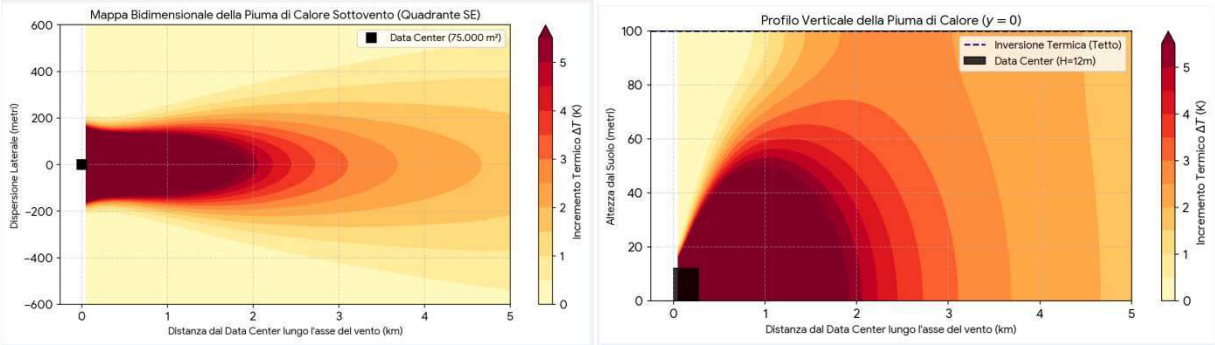


Figure: profilo longitudinale e verticale dalla dispersione di calore dal Data Center 2 m/s.

- I valori di incremento termico riportati nella tabella sottostante sono stati ricavati integrando analiticamente la formula di Pasquill-Gifford corretta per sorgente areale, ipotizzando condizioni di stabilità atmosferica tipiche della pianura padana (Classe E/F di Pasquill, accoppiata a bava di vento).
- I coefficienti di dispersione orizzontale e verticale sono stati parametrizzati introducendo l'offset geometrico virtuale precedentemente discusso, garantendo che la temperatura calcolata a 100 metri rifletta la reale miscelazione termica immediata sopra il tetto del campus e non un'emissione puntiforme fittizia.
- Turbolenza meccanica: data la superficie dei 75000 m^2 del data center, l'edificio si comporta come un ostacolo al moto dell'aria e crea una scia sottovento nella quale si assiste a rimescolamento turbolento di aria fredda e calda in direzione E-SE. Questo ha principalmente due effetti:
  - distribuisce il calore localmente entro i 300-500 metri a ventaglio in forma più caotica (direzione NE-S) con aria però leggermente meno calda, cioè 0,3 °C di incremento, a regime di vento.
  - può causare il cortocircuito termico sul data center portando aria calda verso le prese d'aria di aria fresca (ad esempio se praticano il *free-cooling*). L'effetto pratico è l'aumento del parametro PUE poiché c'è maggior consumo di energia per il funzionamento.

Si evidenzia che, sebbene il passaggio dalla stasi di vento ad una brezza leggera di 2 m/s riduca l'anomalia termica a 1 km da +5,23 °C a +3,12 °C, quest'ultimo valore rappresenta comunque una **variazione microclimatica enorme e intollerabile** per un ecosistema agricolo. Un incremento costante di oltre 3 °C a un chilometro di distanza, in regime di vento prevalente, significa che l'impatto non è un evento raro e limitato ai giorni di calma piatta, ma una **condizione cronica e strutturale** che sposta l'asse termico del territorio verso anomalie tipiche di aree fortemente urbanizzate.

A questi valori si è arrivati applicando la formula dispersiva di Pasquill-Gifford con una importante correzione del termine geometrico.

$$C(x,y,0) = \frac{Q}{\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{H^2}{\sigma_z^2}\right)\right]$$

$$\text{Fattore Geometrico} = \frac{Q}{\pi \cdot u \cdot \sqrt{\sigma_y(x)^2 + \sigma_{y0}^2} \cdot \sqrt{\sigma_z(x)^2 + \sigma_{z0}^2}}$$

La modifica del fattore geometrico, in applicazione corretta del metodo della **sorgente virtuale** (*virtual source offset*), è comunemente usata nei modelli regolatori (come l'EPA americano). Essa deriva dalla differenza tra rilascio da singola ciminiera e rilascio da un tetto di un edificio di superficie 75000 m^2 avente altezza 15 metri e lato 273 metri. Questa modifica sposta indietro la gaussiana per lo spazio necessario affinché essa sembri aver origine da un edificio di lato 273 metri al posto di una ciminiera "puntiforme". La correzione è usata spesso con questo metodo e in sostanza si tratta di un semplice off-set geometrico. Il tutto funziona fino a che la provenienza del vento è un vettore costante. Se la provenienza del vento cambia, i settori sottovento cambiano in sua funzione. Gli effetti dispersivi saranno minori e distribuiti su più settori sottovento.

Questo calcolo ci dice una cosa importantissima, ancorché suggerita già dalla logica. **La dispersione termica ha un impatto sull'ambiente inversamente proporzionale alla velocità del vento** (si vede dal grafico). In luoghi aperti e ventosi (Nord Europa) questo tipo di dispersione termica può avere effetti termici molto più limitati. In Pianura Padana, con l'aggravante dell'inversione termica e dei venti deboli, questa pratica industriale è molto più impattante e dovrebbe essere oggetto di attente valutazioni per non causare danni irreversibili al nostro territorio.

11. Cosa fare del calore?

La questione del calore disperso dai data center è un tema emergente ma, storicamente, è stato sottovalutato nei progetti ingegneristici per diverse ragioni tecniche, economiche e normative. Sebbene i data center siano responsabili di circa l'1% delle emissioni globali di gas serra legate all'energia, il calore è stato spesso considerato un "sottoprodotto neutro" piuttosto che un inquinante diretto. Perché?

- È un calore di bassa qualità: il calore disperso dai server è solitamente aria calda a bassa temperatura (spesso tra 30°C e 40°C). A differenza del calore prodotto da processi industriali pesanti (molto più caldo), è difficile da trasportare e riutilizzare in modo efficiente senza spendere ulteriore energia per innalzarne la temperatura. Per questo motivo, nei progetti di design, è stato storicamente più semplice ed economico dissiparlo all'esterno piuttosto che recuperarlo.
- Mancanza di normative rigorose sul calore residuo: fino a poco tempo fa, le valutazioni di impatto ambientale si sono concentrate quasi esclusivamente sulle emissioni di CO_2 dirette (consumo elettrico) e sui consumi idrici per il raffreddamento. Il "calore disperso" non è stato trattato come un inquinante termico diretto dalla maggior parte delle legislazioni locali, sebbene stia diventando un obbligo in Europa con la **direttiva EED 2023/1791 che richiede obbligatoriamente uno studio di fattibilità tecnica per il recupero per data center > 1MW**.
- Simbiosi industriale: il riutilizzo del calore richiede un utente vicino (teleriscaldamento, serre, industrie) che ne abbia bisogno 24/7. Spesso i data center sono costruiti in aree dove non c'è questa domanda di calore (mismatch), rendendo il recupero tecnicamente o economicamente non fattibile.
- Focus su indici di efficienza diversi dal **PUE**: Il settore ha utilizzato per anni il PUE (Power Usage Effectiveness) come metrica principale, che misura quanto efficientemente l'energia è usata per il calcolo rispetto al raffreddamento, ma non premia

direttamente il recupero di calore. Solo di recente si stanno imponendo indici più avanzati come l'**ERF** (Energy Reuse Factor) che affianca il **WUE** (Water Usage Effectiveness)

12. La situazione sta cambiando (2025-2026)

Le cose stanno mutando rapidamente a causa di:

- AI e calore estremo: L'intelligenza artificiale richiede rack ad altissima densità che riscaldano le aree circostanti fino a +9 °C, creando "isole di calore" urbane.
- Regolamentazione Europea (EED/EnEfG): In Germania e in Europa, nuove leggi (come la EnEfG tedesca) impongono il recupero del calore (fino al 20% entro il 2028 per i nuovi data center).
- La stessa legge italiana D.Lgs 5/2026 che considera il calore recuperato una nuova fonte assimilabile alle rinnovabili e recepisce la 2023/1791 europea.
- Nuove tecnologie: Sistemi di raffreddamento a liquido permettono di catturare calore a temperature più alte, rendendo il recupero più efficiente.

13. Mitigazione e recupero del calore

Recuperare il calore di un data center da 374,4 MW per il riscaldamento a Lacchiarella è una strategia eccellente per ridurre l'impatto ambientale (mitigando l'isola di calore) e creare valore economico. Quanta energia si può recuperare? Ovviamente non il 100% dei 374,4 MW termici immessi in ambiente, più ragionevolmente si potrebbe arrivare all'80% (circa 300 MWt). Lo si potrebbe fare con scambiatori di calore aria-acqua partendo da aria calda a 30-45 °C. Per poter distribuire calore con un sistema di teleriscaldamento, la temperatura dell'acqua (tiepida) dovrebbe raggiungere i 60-80 °C (temperatura ai radiatori domestici o caloriferi) e bisognerebbe utilizzare pompe di calore industriale per questo salto termico che però lavorerebbero in condizioni ideali con acqua preriscaldata a 40 °C consumando poca energia per fare il loro lavoro. Qui si ha nuovo consumo di energia ed è questo che rende tutto sommato non immediatamente vantaggioso economicamente il recupero del calore del data center.

14. Quante abitazioni si possono scaldare?

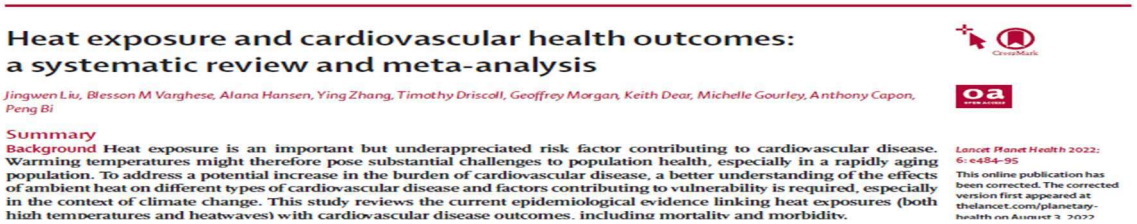
Il calcolo dipende dall'isolamento degli edifici e dalla stagione. Nella nostra zona climatica (classe E) un appartamento moderno richiede circa 5-7 kW di picco mentre uno meno recente 10-12 kW. Una villetta circa 25 kW di picco.

- Inverno picco: con circa 300 MWt si possono servire circa 40000-50000 appartamenti da 90 m^2. Ci sono tutti questi appartamenti entro 3 km da Lacchiarella?? Si ricorda che la distanza ottimale per il teleriscaldamento è 0-2 km ma la tecnologia può spingersi anche sino a 20 km (tecnicamente fattibile con costi aggiuntivi).
- Media stagionale: poiché il data center emette calore 24/7 ma la richiesta di calore varia, il sistema può coprireun fabbisogno annuo ben superiore al numero di unità abitative reali che ci sono entro 3 km.
- Risparmio di emissioni di CO_2: si possono stimare circa oltre 120 mila di tonnellate/anno risparmiate migliorando enormemente l'impronta carbonica di Lacchiarella e comuni circostanti.
- Recupero dell'investimento: si stima un rientro economico di 7-12 anni, dipende dagli incentivi e dalla densità delle utenze. Il tempo necessario è considerato economicamente "**impegnativo**" anche a causa della scarsa longevità dei Data Center. Per questo che la convenienza economica non è così marcata.

15. Cosa si risponde alle seguenti osservazioni?

"Mah, capisco la dispersione del calore, ma se il posto dove abito si riscalda un po' io pagherò di meno il costo del riscaldamento!?"
"Se il calore non è un inquinante, perché preoccuparsene?"
"Aiuta a combattere le gelate invernali".

- Risposta 1: Le ondate di calore estive rappresentano un grave rischio per la salute umana causando danni lievi (crampi, disidratazione) o severi (colpo di calore, insufficienza d'organo). Aggravano la condizione di persone che già soffrono di patologie cardiovascolari e respiratorie, renai, diabete e neurologiche (Alzheimer, Parkinson). **L'aumento di qualche grado di temperatura concorre a peggiorare tutto questo**. In merito, si consideri la seguente pubblicazione scientifica. L'anomalia termica indotta dal Data Center agisce come un moltiplicatore di rischio soprattutto durante le ore notturne estive. La letteratura epidemiologica (es. i rapporti DEP Lazio / Ministero della Salute sulle ondate di calore) dimostra che il fattore critico per la mortalità dei soggetti fragili non è solo il picco diurno, ma il **mancato raffreddamento notturno** (notti tropicali con T > 20 °C). Impedendo al territorio di disperdere calore di notte, il Data Center nega l'unico momento di sollievo biologico all'organismo dei residenti fragili, amplificando l'impatto sanitario delle ondate di calore naturali.



Heat exposure and cardiovascular health outcomes: a systematic review and meta-analysis

Jingwen Liu, Blesson M Varghese, Alana Hansen, Ying Zhang, Timothy Driscoll, Geoffrey Morgan, Keith Dear, Michelle Gourley, Anthony Capon, Peng Bi

Summary

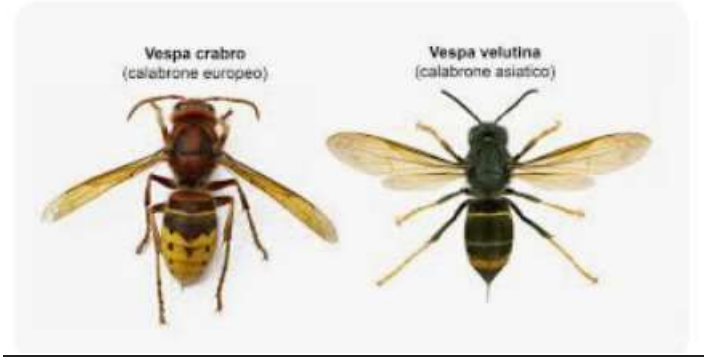
Background Heat exposure is an important but underappreciated risk factor contributing to cardiovascular disease. Warming temperatures might therefore pose substantial challenges to population health, especially in a rapidly aging population. To address a potential increase in the burden of cardiovascular disease, a better understanding of the effects of ambient heat on different types of cardiovascular disease and factors contributing to vulnerability is required, especially in the context of climate change. This study reviews the current epidemiological evidence linking heat exposures (both high temperatures and heatwaves) with cardiovascular disease outcomes, including mortality and morbidity.

Lancet Planet Health 2022; 6: e484–95

This online publication has been corrected. The corrected version first appeared at thelancet.com/planetary-health on August 3, 2022

- Risposta 2: Effetti ambientali di cambiamento climatico:
  - Nel 1990 la **zanzara tigre** sbarcava a Genova, proveniente dall'oriente. Gli inverni miti a partire già dal 1991 le hanno consentito di attraversare gli Appennini ed arrivare in Pianura Padana.

  - Nel 2012 (Loano SV) arrivava la Vespa Velutina, diffondendo nell'interno e creando seri danni agli apicoltori. Sopravvive agevolmente grazie agli inverni miti.



- E poi: **Afidi** che accelerano il metabolismo, **Ragnetto rosso**, **Mosca dell'olivo e della frutta** che invadono nuove aree più calde, **Cavallette** (si veda la Sardegna con la locusta del Marocco 2019-2024), **Bostrico dell'abete**, **Tripidi** e **Mosche bianche**, **Zecche** e **pulci**, **Pappataci** (Flebotomi) che diffondono la leishmaniosi.

- Agricoltura: Si stima che un aumento di temperatura di 2 °C possa incrementare le perdite globali dei raccolti di cereali principali (grano, riso, mais) tra il 19% e il 46%, poiché gli insetti diventano più numerosi e hanno un metabolismo più affamato. Si specifica che l'incremento termico superficiale calcolato (fino a +3 °C a 1 km) interseca direttamente i canali irrigui e le marcite del comparto agricolo locale. L'innalzamento termico dell'acqua di irrigazione accelera la proliferazione di parassiti e funghi (es. il brusone del riso - in linea con i modelli epidemiologici del Servizio Fitosanitario di Regione Lombardia ed Ente Nazionale Risi, che associano le infezioni fungine a precoci stress termici e idrici microclimatici), riducendo drasticamente la resa quantitativa e qualitativa delle colture d'eccellenza del territorio. Non si tratta di un mutamento planetario astratto, ma di una **forzatura termica locale focalizzata sul suolo agrario**.

- **Impatto sanitario ed economico spaventoso. Non si vuole attribuire tutto ciò al proliferare dei data center, ma questi aggravano il problema aggiungendo nuove e importanti sorgenti di calore in un territorio difficile, già oggetto di molteplici fattori concomitanti, con aria ristagnante ed inquinata e i dati sanitari ISTAT ne certificano le conseguenze.**

Questo lavoro è stato presentato al pubblico di Lacchiarella in occasione di un'assemblea pubblica organizzata dal Comitato Ciarlasco per la tutela del territorio, in data 29 maggio 2026. Si allega il PDF della presentazione.

Comitato per la tutela del territorio certosino

Data Center
e
il calore, questo sconosciuto!

Lacchiarella, 29 maggio 2026 - Sergio Manera (fisico)

Inizio con una provocazione !

Se vi dicessero «2+2 non fa 4» ???

Tutti concordano, i data center sono estremamente energivori.

E dove finisce quell'energia ?? Perché se ne perde traccia?

Stasera vi dimostrerò che 2+2 fa veramente 4 !

Premessa doverosa

La dispersione di calore dai DC è ignorata dai proponenti.

Il calore sparisce dopo i Chiller. **Magia!**

Non si occupano di recupero energetico come prevede una direttiva europea.

Bene che vada, dicono che recuperare calore è anti-economico e non lo fanno.

La dispersione di calore dai DC è ignorata dagli Enti.

Non la vedono nei documenti, non chiedono valutazioni di impatto.

Docenti e relatori nei convegni affermano che il tema è nuovo e mancano gli strumenti di calcolo/valutazione. ***Non sono d'accordo e propongo soluzioni!***

I cittadini, bontà loro, non conoscono il problema e non «osservano».

Fortunatamente si sta iniziando a parlare di calore.

Le ho sentite con le mie orecchie!

Confutiamo affermazioni sbagliate

Si vuole dare una risposta ad affermazioni erronee del tipo:

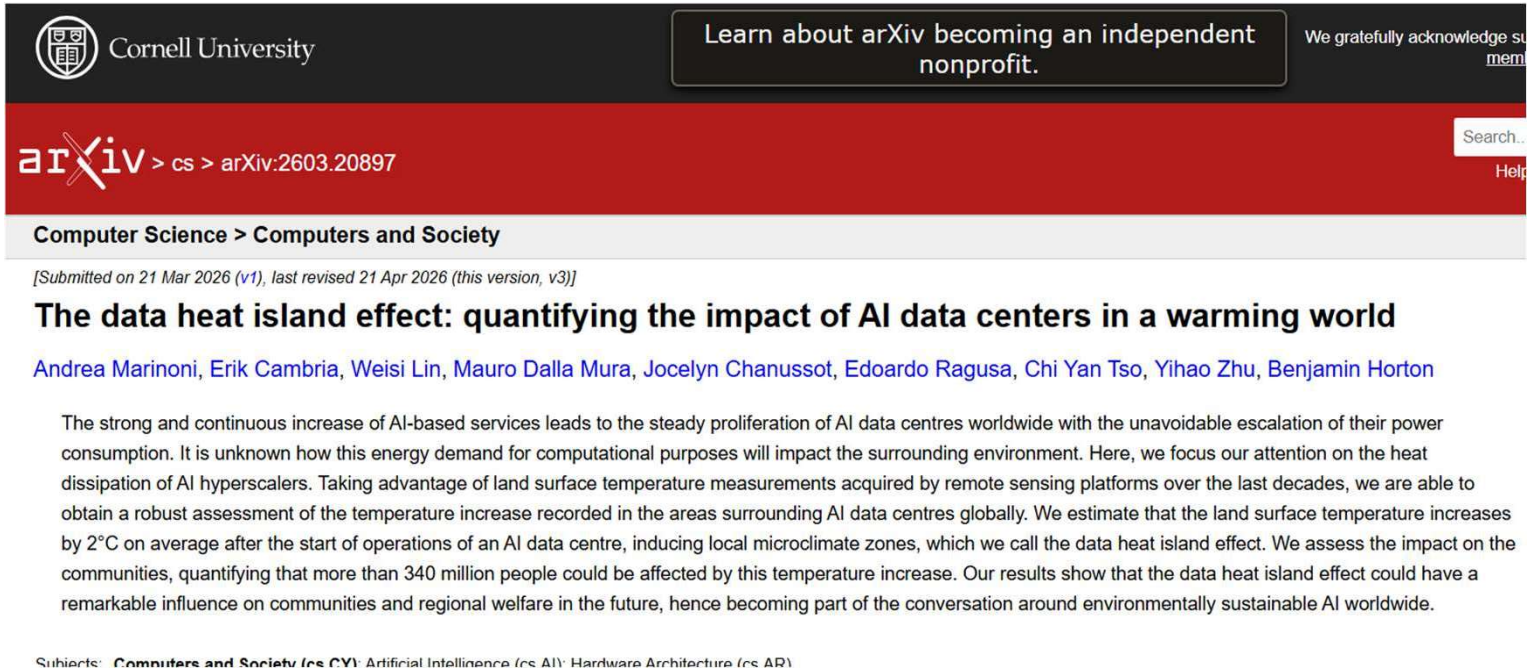
"***L'impatto ambientale della dispersione di calore di un Data Center è nullo perché il calore espulso dai ventilatori va in alto e si disperde in atmosfera senza effetti sull'ambiente circostante***". **Concettualmente sbagliato! E' una semplificazione inaccettabile.**

"**Se il calore sparisse perché va in alto, le città non sarebbero più calde delle campagne, sia di giorno con insolazione diretta, sia di notte**".

Il tema delle isole di calore antropico

- *Cemento/asfalto.*
- *Autoveicoli.*
- *Riscaldamento abitazioni.*
- *Mancanza di alberi.*

Studio Cambridge



Cornell University

Learn about arXiv becoming an independent nonprofit.

We gratefully acknowledge su
mem

arXiv > cs > arXiv:2603.20897

Search..

Help

Computer Science > Computers and Society

[Submitted on 21 Mar 2026 (v1), last revised 21 Apr 2026 (this version, v3)]

The data heat island effect: quantifying the impact of AI data centers in a warming world

Andrea Marinoni, Erik Cambria, Weisi Lin, Mauro Dalla Mura, Jocelyn Chanussot, Edoardo Ragusa, Chi Yan Tso, Yihao Zhu, Benjamin Horton

The strong and continuous increase of AI-based services leads to the steady proliferation of AI data centres worldwide with the unavoidable escalation of their power consumption. It is unknown how this energy demand for computational purposes will impact the surrounding environment. Here, we focus our attention on the heat dissipation of AI hyperscalers. Taking advantage of land surface temperature measurements acquired by remote sensing platforms over the last decades, we are able to obtain a robust assessment of the temperature increase recorded in the areas surrounding AI data centres globally. We estimate that the land surface temperature increases by 2°C on average after the start of operations of an AI data centre, inducing local microclimate zones, which we call the data heat island effect. We assess the impact on the communities, quantifying that more than 340 million people could be affected by this temperature increase. Our results show that the data heat island effect could have a remarkable influence on communities and regional welfare in the future, hence becoming part of the conversation around environmentally sustainable AI worldwide.

Subjects: **Computers and Society (cs.CY)**; Artificial Intelligence (cs.AI); Hardware Architecture (cs.AR)

NASA
Misure IR/UR
da dallo spazio
con satelliti

Uno studio dell'Università di Cambridge rivela che i grandi data center generano un effetto "***isola di calore***", innalzando la temperatura del suolo circostante in media di oltre 2 °C, con picchi fino a **9,1 °C** nelle zone ad alta densità. **L'analisi di oltre 6.000 impianti** evidenzia un impatto termico misurabile sino a 10 km, che coinvolge oltre 340 milioni di persone a causa della rapida espansione delle infrastrutture per **l'intelligenza artificiale**.

Studio Cambridge: warning!

"I proponenti vi diranno che questo studio è solo un preprint e che i pixel del satellite sono grossolani. Ma la verità scientifica è che nessuno di loro ha presentato uno studio di fluidodinamica (CFD) locale per smentirlo. Se lo studio di Cambridge esagera, l'onere della prova scientifica spetta a chi vuole costruire l'impianto, non ai cittadini."

Noi cittadini pretendiamo
che in sede di istanza di autorizzazione i proponenti inseriscano la valutazione del rischio calore! Se manca, gli Enti la richiedano.

La termodinamica (prometto, poche formule!)

Primo principio della termodinamica (formulazione come bilancio energetico):

«L'energia interna di un sistema termodinamico isolato è costante».

«L'energia non si crea né si distrugge, ma si trasforma passando da una forma all'altra».

$$\Delta U = Q - L$$

ΔU = Variazione di energia interna al sistema (corrente consumata).

Q = Calore scambiato.

L = Lavoro compiuto (meccanico o chimico) che per i DC = 0.

Ne deriva che: «**il 100 % dell'energia elettrica consumata da un DC va in calore ceduto all'ambiente!».** Calore che deve essere rimosso dai server.

DC di Lacchiarella è 288 MW con PUE=1,3, quindi 374,4 MW di potenza elettrica totale che si trasformerà in 374,4 MW di calore!

Data Center rispetto al Comune di Lacchiarella

Consumi elettrici (kWh)

Il Data Center consumerebbe una quantità di corrente **300 volte maggiore dell'intero Comune di Lacchiarella** (3280 GWh/anno Data Center contro 10,9 GWh/anno di Lacchiarella)

Come se Lacchiarella (9,130) diventasse di oltre 2,748,130 abitanti …

Infatti … (vi lascio i calcoli) … circa 10,000 abitanti/MW …

Calcoli

Dettagli e ipotesi di calcolo utilizzate:

Paese di Lacchiarella

Lacchiarella ha circa 9130 abitanti, quindi circa 3970 nuclei famigliari con allacciamenti alla rete elettrica medi del taglio di 3 kW (contatori). Una utenza famigliare consuma circa 2500-3000 kWh/anno (li trovate in bolletta). Prendiamo i valori medi per i calcoli.
L'intero paese di Lacchiarella consuma mediamente 3970*2750 kWh/anno = 10,9 GWh/anno

Qual è il taglio medio di potenza assorbita dal paese di Lacchiarella? Non è 3970*3 kW = 11,9 MW perché nessuna utenza è significativamente nel tempo vicina al limite di 3 kW, piuttosto l'assorbimento medio di picco è circa 5-5,5 MW. Se però consideriamo un po' di utenze a 6 kW, le attività industriali e artigianali, l'illuminazione pubblica, arriviamo a circa 6 MW di potenza media per l'intero paese di Lacchiarella.

Data Center

Il taglio di potenza di questo impianto è 288 MW (potenza diretta dei server), tralasciamo le utenze interne. Il PUE (Power Usage Effectiveness) è 1,3 (efficienza media del sistema). Per cui il taglio di potenza effettivo è circa 374 MW.
Quanta corrente consuma il DC? Risposta: 288 MW * 24ore * 365gg * PUE = 3279744 MWh/anno = **3280 GWh/anno**.

Da questi numeri si ricavano i dati riportati all'inizio della pagina:

Potenza assorbita: 374 MW (Data Center) / 6 MW (Lacchiarella) = 62.3 volte

Corrente consumata: 3280 GWh/anno (Data Center) / 10,9 GWh/anno (Lacchiarella) = 300 volte

E’ energivoro? SI, ma noi guardiamo il calore!

1. Il calore prodotto dai server **deve essere riutilizzato**, lo dice la Direttiva 2023/1791 che impone l’obbligo di valutazione di fattibilità del recupero per impianti di potenza > 1 MW. A ciò si aggiunge il D.Lgs n. 5/2026 (che la recepisce) che considera il calore recuperato una nuova fonte rinnovabile di energia.

2. Quindi, **la legge vieta di gettare il calore se c'è un'alternativa tecnica**, e gli Enti locali devono pretendere lo studio di fattibilità del teleriscaldamento prima di firmare l'autorizzazione. **Ce lo impone anche il buon senso, visto che è energia!**

3. Si può derogare se e solo se si dimostra che il recupero di calore è totalmente impraticabile (tecnicamente). Viceversa, in molti progetti di DC si rileva la **non convenienza economica** a recuperarlo.

4. Come recuperare calore? Ad esempio con **teleriscaldamento**, serre, piscine, produzione di pellet di legno, etc., trasformando un effluente da smaltire in ambiente in una risorsa che genera ricchezza e beneficio localmente.

Il calore, come impegnarsi a recuperarlo!

1. **Il vincolo del calore "di scarto": è necessario passare da un effluente/rifiuto termico ad una risorsa preziosa.**

2. **Il limite fisico:** Il calore rilasciato dai server è a bassa temperatura (30-40°C). Senza interventi, è inutilizzabile per le reti di teleriscaldamento tradizionali o per i processi industriali locali.

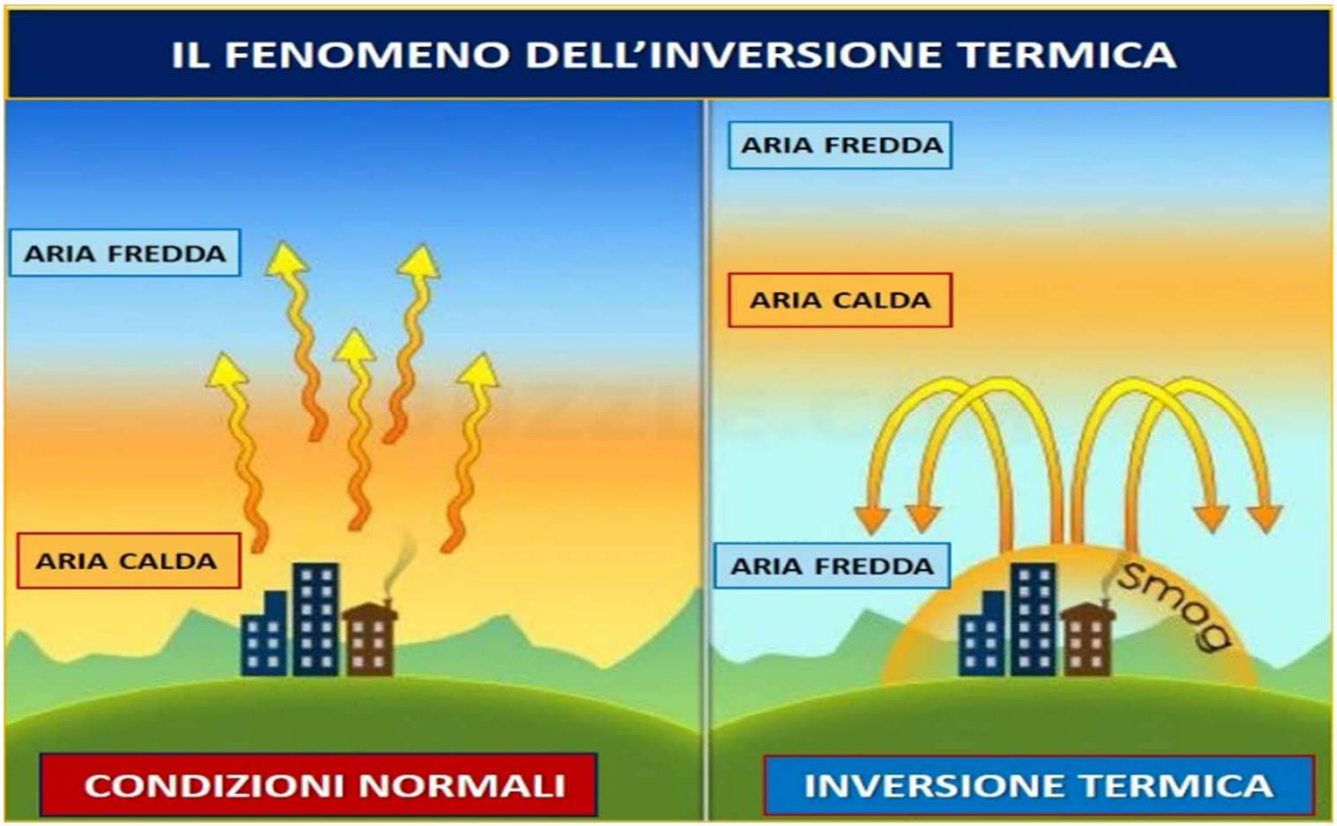
3. **La soluzione obbligatoria:** L'infrastruttura non deve limitarsi a "cedere" acqua tiepida. Il progetto deve integrare obbligatoriamente pompe di calore industriali (alimentate da fonti rinnovabili in sito) per innalzare la temperatura ai livelli richiesti dalla rete urbana (60-80°C).

4. **Il principio:** Il recupero termico non è un'opzione facoltativa di facciata, ma un prerequisito impiantistico vincolante per l'autorizzazione.

L’inversione termica: cos’è?

L'effetto ha luogo a causa del raffreddamento rapido del suolo rispetto al ristagno di aria calda nella fascia 50-150 metri di quota. **Quanto incide questo fenomeno in termini di ore/anno?** La stima è circa il **35-45%** Il fenomeno è profondamente diverso tra le stagioni estate e inverno, ed è meno marcato nelle stagioni intermedie:

Instabilità



Stabilità

L’inversione termica: cos’è?

Intervallo orario	Frequenza inversione	Effetto dell'inversione termica sulla dispersione di calore dal Data Center
22:00 - 07:00	Alta: > 90% in inverno, più bassa in estate (< 45%)	L'inversione termica agisce da "tappo" e il calore del DC non riesce a salire espandendosi orizzontalmente a bassissima quota (superficiale), saturando il microclima locale.
09:00 - 17:00	Bassa: < 30% in inverno e nulla in estate	La rottura del "tappo" di inversione termica è garantita dalla veloce risalita di aria calda che si origina dal riscaldamento radiativo solare a suolo. Specie in estate. In questi casi la piuma termica del DC segue il moto convettivo di origine solare.
Alba	Transizione	È la fase critica in cui l'inversione si rompe causando fluttuazioni rapide. La piuma termica del DC segue i flussi d'aria locali.
Tramonto	Transizione	È la fase critica in cui l'inversione si forma arrestando le fluttuazioni rapide legate ai flussi d'aria locali.

L’inversione termica: i nostri paesaggi lombardi!

L’inversione termica: i nostri paesaggi lombardi!

Questa fotografia non è solo un elemento di bellezza paesaggistica lombarda, ma rappresenta la «**fase critica zero**» del territorio di Lacchiarella.

Essa evidenzia il blocco atmosferico (**stabilità**): la nebbia piatta e la brina dimostrano che l’atmosfera sopra al suolo è in uno stato di massima stabilità (P-G Classi E-F). L’aria è un blocco di ghiaccio e umidità stratificato che non si muove verticalmente.

In questo scenario di equilibrio naturale delicatissimo, il DC immetterà forzatamente 374,4 MW di calore continuo tramite i Chiller sul tetto. Cosa succederà? **Quel calore non potrà salire perché la nebbia e l’inversione termica fanno da tappo**. Il calore scioglierà la brina circostante, alterando il ciclo biologico notturno dei campi e creando una bolla di microclima caldo e artificiale, ostile all’agricoltura locale (**allarme termico**).

Dispersione del calore

Ragioniamo sulla sorgente di calore: la densità termica superficiale.

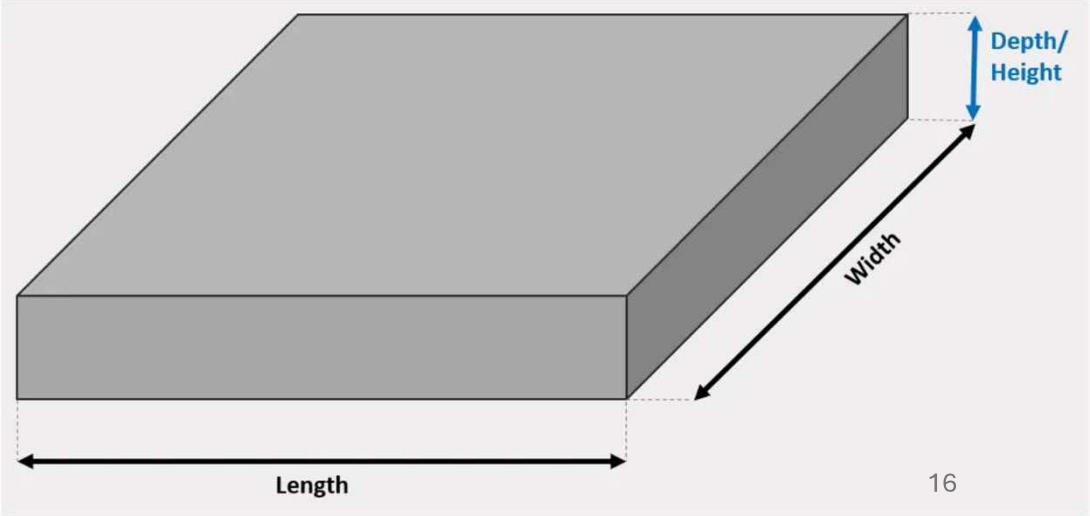
Densità = [potenza termica (W)/Superficie (m^2)] = [374400000 W / 75000 m^2] = **4992 W/m^2**

E' tanto o poco?

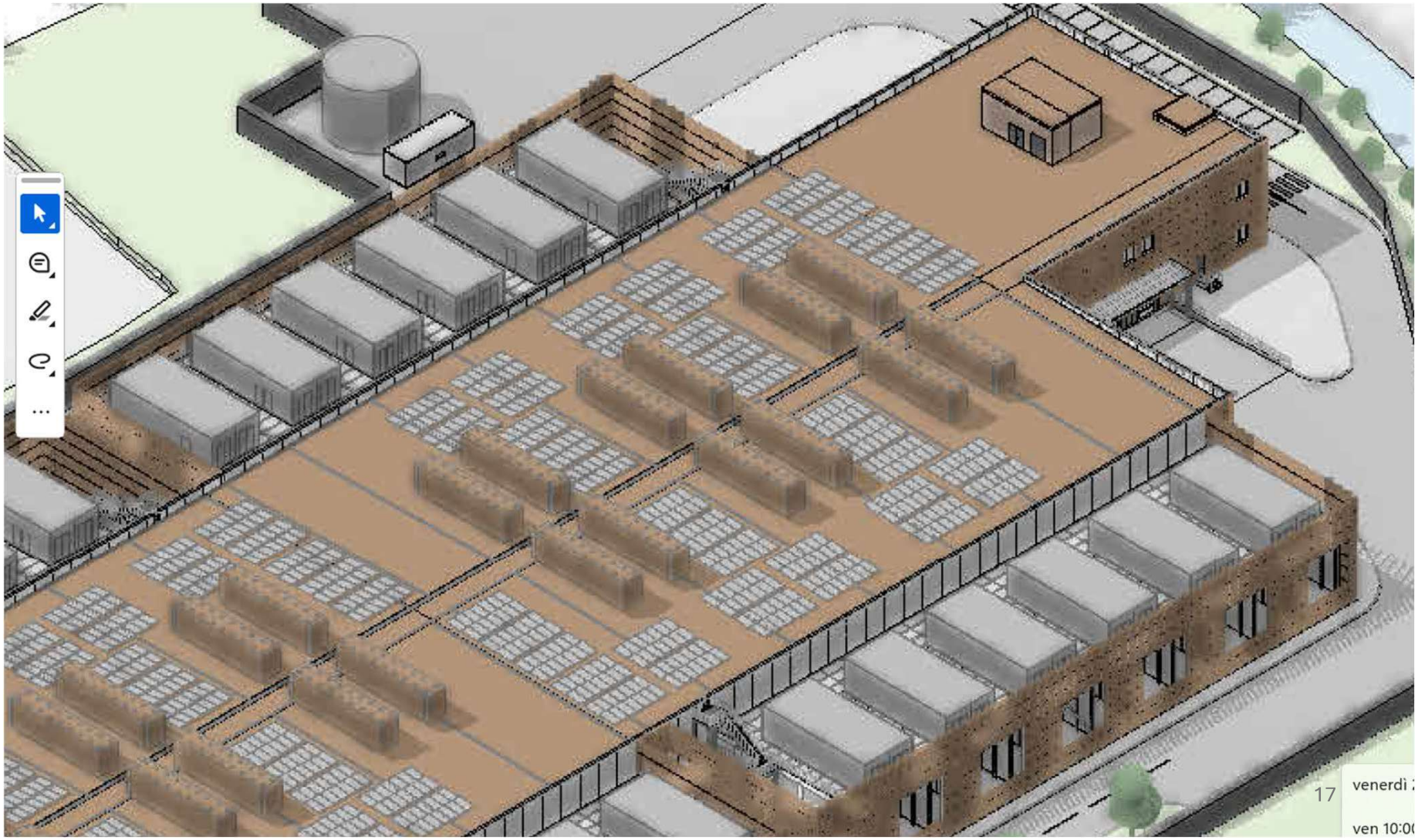
il centro di Milano ha una densità termica superficiale **antropica** di 50-100 W/m^2. La radiazione **solare media** a luglio è circa 400 W/m^2. Il tetto del Data Center si comporta come una isola rovente (ben visibile dallo spazio nell'IR).

Modellizzazione grafica della sorgente:

- Lato = 273 metri.
- Altezza = 15 metri.
- Superficie = 75000 m^2



Preso dalle tavole grafiche di Vellezzo Bellini



Dispersione del calore

Ragioniamo sulla sorgente di calore: portata dell'aria espulsa dai 250 Chiller.

$$V = \text{Potenza} / (\rho * c_p * \Delta T) = 3{,}744\ 10^8\ \text{W} / (1{,}2\ \text{kg/m}^3 * 1005\ \text{Joule/(kg* K)} * 12\ \text{K}) = 25870\ \text{m}^3/\text{s}$$

con il seguente significato dei parametri utilizzati sopra:

- ✓ Potenza = 374,4 MW.
- ✓ ρ = è la densità dell'aria pari a 1,2 kg/m^3 a 20 °C al livello del mare.
- ✓ c_p= è il calore specifico dell'aria secca a pressione costante, ovvero la quantità di calore necessaria per innalzare la temperatura di 1 kg di aria di 1 grado Kelvin (o centigrado) mantenendo la pressione invariata e ha un valore standard di 1005 Joule/(kg*K), valido per aria secca a 25 °C.
- ✓ ΔT = salto termico in uscita (12 K è un valore ragionevole).

- ✓ **dissipazione dell'involucro**: circa il 95-98% del calore sarà espulso dai ventilatori, ma una piccola parte del calore raggiungerà le pareti dell'edificio riscaldandone e causando un ulteriore irraggiamento termico verso l'esterno.

Ma perché l'aria calda del DC non va in alto?

(pro-memoria per ingegneri)

A Lacchiarella, in pianura padana, l'aria calda e secca immessa dai Chiller, si invola verso l'alto un po' per calore, un po' per spinta (scarsa)….

… incontrando aria estremamente umida (risaie, vegetazione, nebbia) con cui si mescola e subisce un processo di **stabilizzazione termodinamica**.

In condizioni di nebbia o forte umidità notturna (tipiche della zona), la capacità dell'aria di far salire la piuma termica per ***galleggiamento*** si riduce drasticamente. Non fa che pochi metri sopra i tetti del DC.

La massa d'aria calda si mescola con l'umidità locale, aumenta di densità rispetto a un'aria totalmente secca e tende a muoversi come un **"fluido pesante"** raso terra, andando a impattare direttamente il microclima agrario circostante.

Dispersione del calore (modellistica cautelativa di screening)

Vi propongo i seguenti casi di studio, secondo le categorie di forza del vento di **Beaufort** .

1. **Stasi di vento** e inversione termica (worst case).

2. Bava di vento (v = **2 m/s**).

3. Brezza tesa di vento (v = **5 m/s**).

4. Vento fresco (v = **10 m/s**).

Perché voglio dimostrarvi qualcosa di importante!

Confronto tra modelli: Cambridge vs Pasquill-Gifford

Cambridge: misura termica a suolo con IR dallo spazio e correzioni per UR locali.

Pasquill-Gifford: dispersione della piuma di calore e calcolo dell'eccesso ΔT.

- ✓ I due modelli non si contraddicono e arrivano a risultati compatibili. Perché? Perché il flusso atmosferico della piuma di calore (P-G) genera effetto termico al suolo misurato (C) e rende conto del **nesso causale** del fenomeno.

- ✓ Il fattore «pianura padana e inversione termica» autorizza caldamente l'uso di P-G a causa dello schiacciamento al suolo della piuma termica.

- ✓ P-G è un modello di screening conservativo? Sì, lo ammetto. Ma l'ho usato perché i proponenti non hanno presentato **alcuno studio di microclima o di fluidodinamica computazionale (CFD)** nei loro documenti ambientali. Se ritenete che la piuma termica si dissipi prima di 5 km, l'onere della prova spetta a voi ingegneri: **simulate voi l'impatto dei 374,4 MW termici sulle risaie e sulle cascine di Lacchiarella dimostrando che non ci saranno danni alle colture e conseguenze sulla salute umana**.

Worst Case: stasi di vento con inversione termica di 10 ore

Area suburbana simulata con un cilindro di raggio 5 km e altezza 100 metri

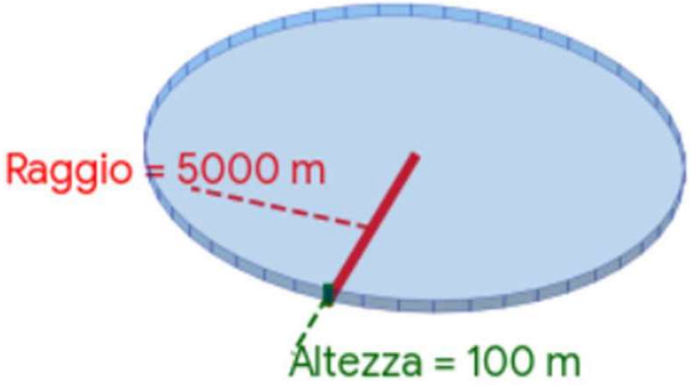
Calcolo: [ipotesi di calcolo H=100 metri, ρ=1,2 kg/m^3, c_p=1006 J/(kg*K)]

-Superficie coinvolta: A = π * r^2 = π * (5000 m)^2 = **78,5 10^6 m^2**.

-Volume d'aria: A * H = **7,85 10^9 m^3**.

-Massa di aria: M = **9,4 10^9 kg**

-Legge di calorimetria: Q = M*c_p*ΔT



Energia termica immessa in aria in 1h:

U = 1,35 10^{12} Joule (infatti è 374,4 MW = 3,744108 J/s * 3600 s = 1,35 10^{12} J)

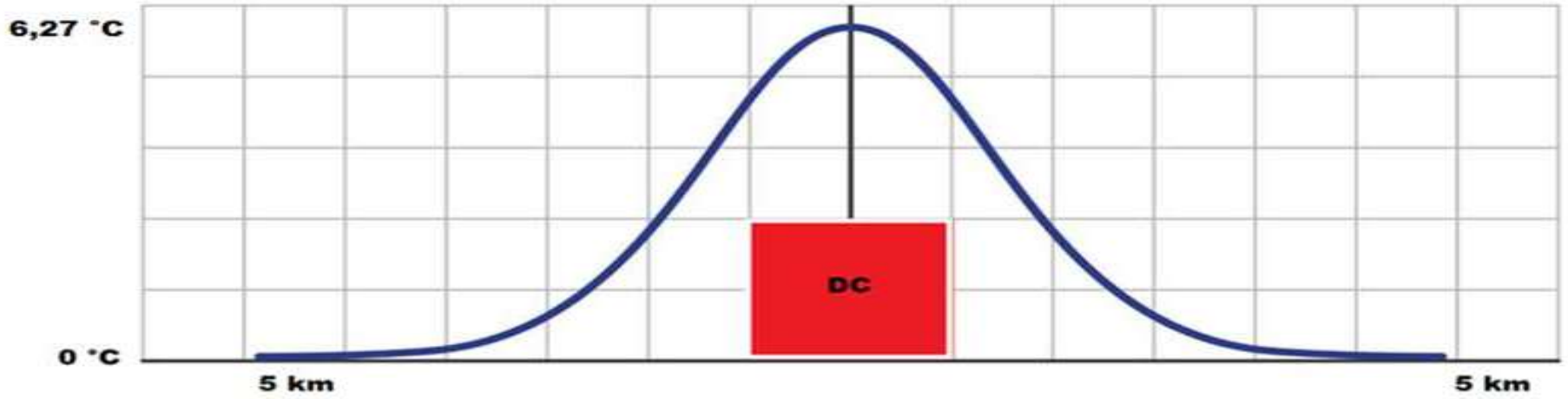
Aumento medio orario della temperatura:

ΔTh = U / (M * c_p) = 1,35 10^{12} J / [9,4 10^9 kg * 1006 J/(kg*K)] = **0,142 K**

Modellizzazione non omogenea di ΔT: gaussiana

Aumento medio orario della temperatura:

$$\mathbf{\Delta Th} = U / (M * c_p) = 1{,}35\ 10^{12}\ J / [9{,}4\ 10^{9}\ kg * 1006\ J/(kg*K)] = \mathbf{0{,}142\ K}$$



Il caso del DC di Lacchiarella (374,4 MW) porterebbe ai seguenti parametri:

+ 6,27 °C al centro
+ 5,23 °C a 1 km
+ 1,9°C a 3 km
+ 0.2 °C a 5 km
+ 1,42 °C medio sul volume di riferimento ← **Media per 10 ore !!**

Caso reale, “Lacchiarella”

Il caso del DC di Lacchiarella (374,4 MW) porterebbe ai seguenti parametri:

+ 6,27 °C al centro
+ 5,23 °C a 1 km
+ 1,9°C a 3 km
+ 0.2 °C a 5 km
+ 1,42 °C medio sul volume di riferimento

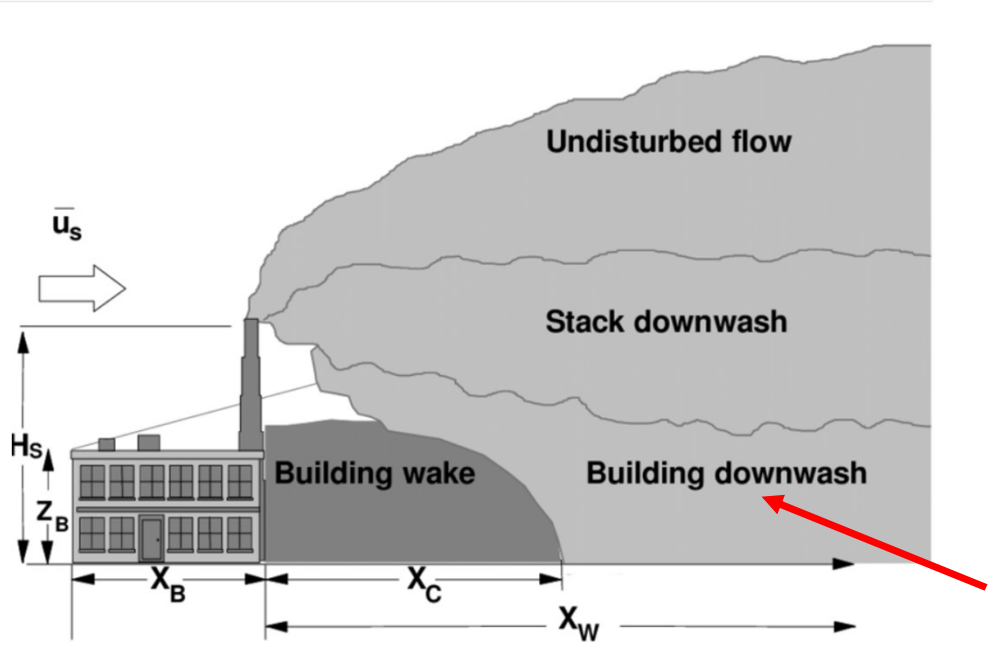
Attenzione ai polli di Trilussa!

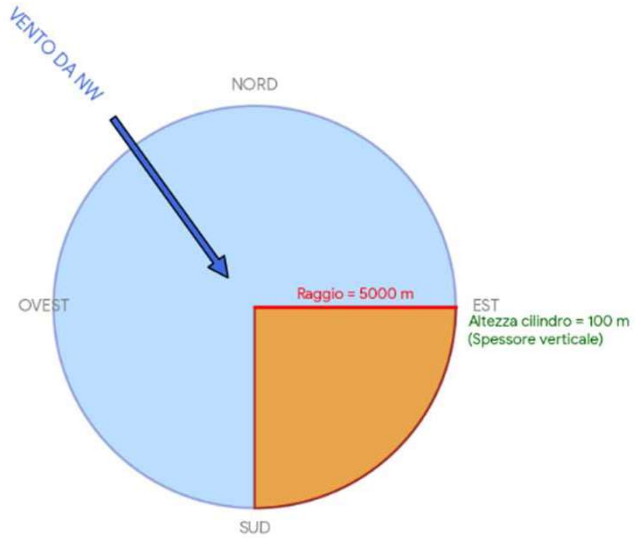
"Il valore medio geometrico di +1,42 °C è un dato puramente teorico e fuorviante.

La fisica dei fluidi dimostra che il calore si concentra in vettori d'aria specifici (piume termiche sottovento), generando un picco locale di +6,27 °C a ridosso dell'impianto e di 5,23 °C sino ad 1 km. È l'impatto di picco che distrugge il microclima agrario circostante, non la media statistica."

Effetto del vento: vari scenari 2 m/s, 5 m/s e 10 m/s

Area rurale simulata con un settore di cilindro di raggio 5 km e altezza 100 metri.





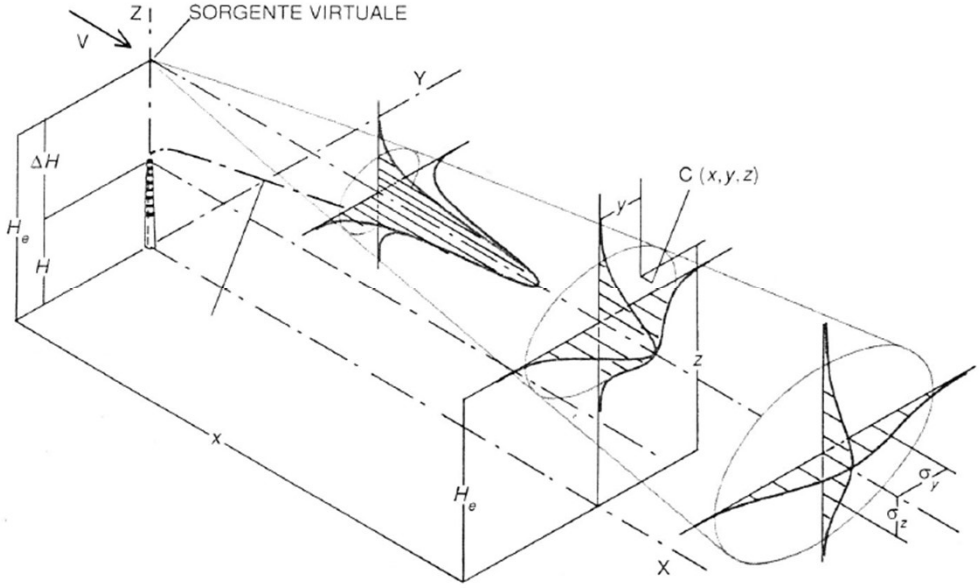
L'incremento termico orario deve tener conto dello **scorrimento continuo dell'aria** che in circa 41 minuti (2 m/s) oltrepassa la linea dei 5 km di distanza. Si ha, cioè, una situazione dinamica di transito d'aria calda. L'aria locale subirà un incremento termico riportato in **grafico/tabella**. Si replica facilmente con incremento della velocità del vento a 5 m/s e 10 m/s.

Dispersione gaussiana - Metodo Pasquill/Gifford

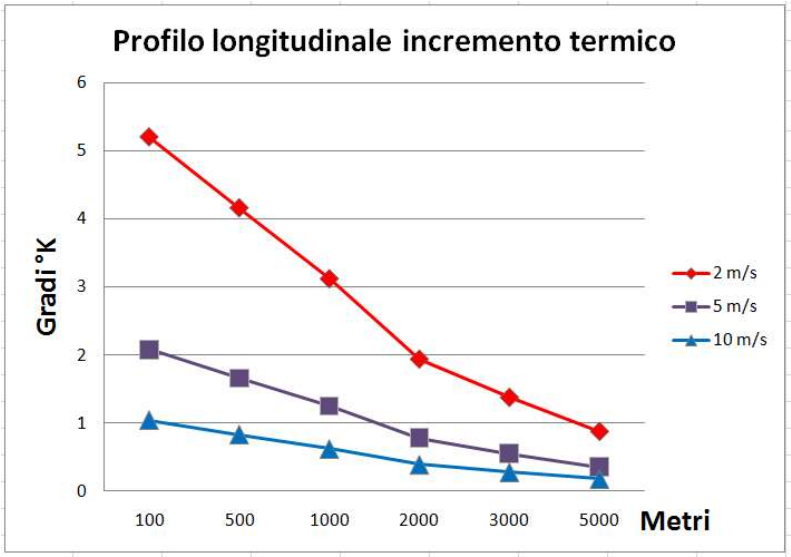
$$C(x,y,0) = \frac{Q}{\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{H^2}{\sigma_z^2}\right)\right]$$

$$\text{Fattore Geometrico} = \frac{Q}{\pi \cdot u \cdot \sqrt{\sigma_y(x)^2 + \sigma_{y0}^2} \cdot \sqrt{\sigma_z(x)^2 + \sigma_{z0}^2}}$$

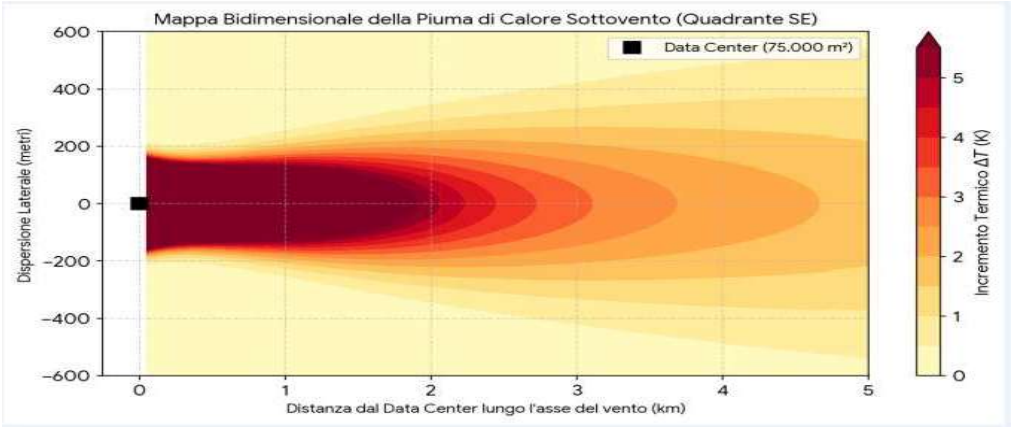
Novità rispetto al calcolo classico per il calcolo dell'eccesso di Temperatura.

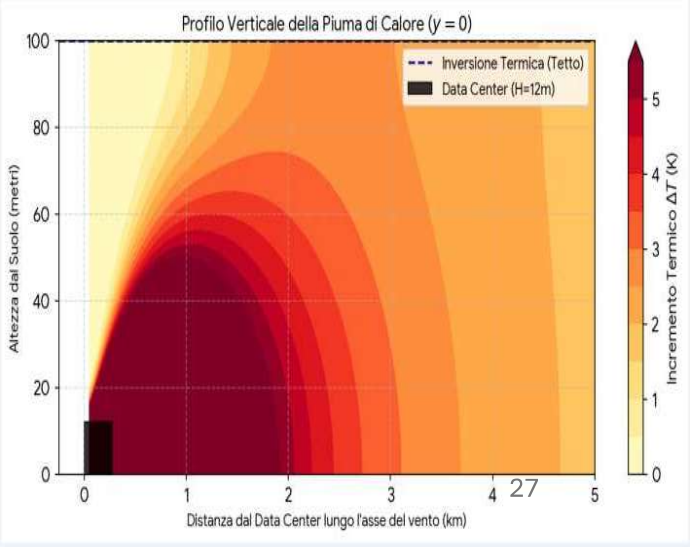


Caso reale, “Lacchiarella”, vento a 2 m/s, 5 m/s e 10 m/s



Distanza dal DC (metri)	Incremento T (°C) 2 m/s	Incremento T (°C) 5 m/s	Incremento T (°C) 10 m/s
100	5,20	2,08	1,04
500	4,16	1,66	0,83
1000	3,12	1,25	0,62
2000	1,94	0,78	0,39
3000	1,38	0,55	0,28
5000	0,88	0,35	0,18





Quali effetti per il calore? Ovviamente non è tutta colpa dei DC

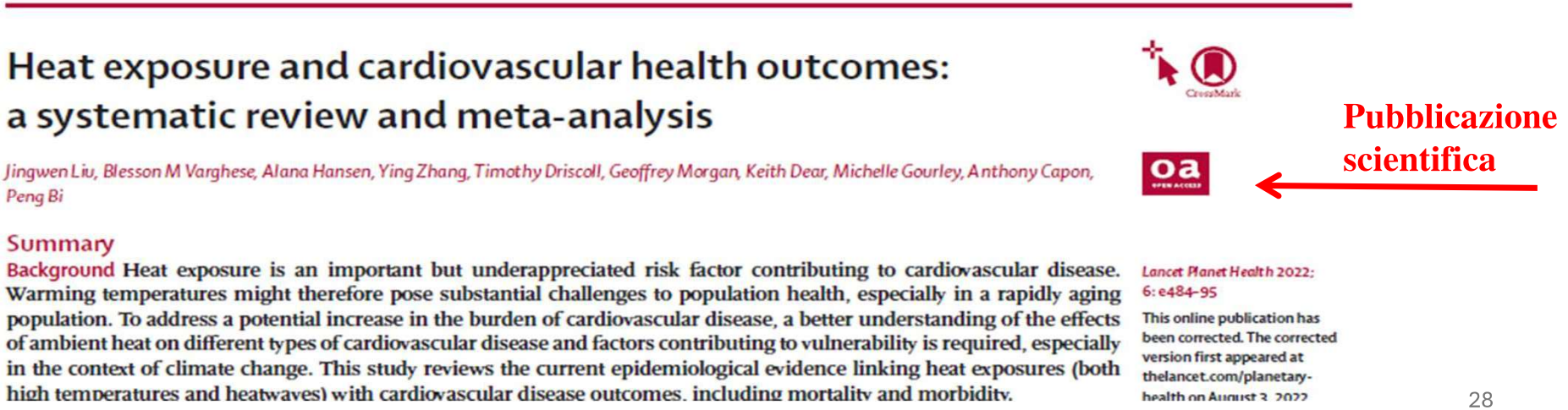
Cosa si risponde alle seguenti osservazioni?

"Capisco la dispersione del calore, ma se il posto dove abito si riscalda un po' io pagherò di meno il costo del riscaldamento!?"

"Se il calore non è un inquinante, perché preoccuparsene?"

"Aiuta a combattere le gelate invernali".

Risposta 1: Le ondate di calore estive rappresentano un grave rischio per la salute umana causando danni lievi (crampi, disidratazione) o severi (colpo di calore, insufficienza d'organo). Aggravano la condizione di persone con patologie cardiovascolari e respiratorie, renai, diabete e neurologiche (Alzheimer, Parkinson). **L'aumento di qualche grado di temperatura concorre a peggiorare tutto questo**.



Heat exposure and cardiovascular health outcomes: a systematic review and meta-analysis

Jingwen Liu, Blesson M Varghese, Alana Hansen, Ying Zhang, Timothy Driscoll, Geoffrey Morgan, Keith Dear, Michelle Gourley, Anthony Capon, Peng Bi

Summary

Background Heat exposure is an important but underappreciated risk factor contributing to cardiovascular disease. Warming temperatures might therefore pose substantial challenges to population health, especially in a rapidly aging population. To address a potential increase in the burden of cardiovascular disease, a better understanding of the effects of ambient heat on different types of cardiovascular disease and factors contributing to vulnerability is required, especially in the context of climate change. This study reviews the current epidemiological evidence linking heat exposures (both high temperatures and heatwaves) with cardiovascular disease outcomes, including mortality and morbidity.

Lancet Planet Health 2022; 6: e484–95

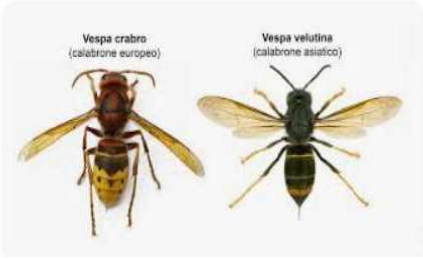
This online publication has been corrected. The corrected version first appeared at thelancet.com/planetary-health on August 3, 2022

Pubblicazione scientifica

Quali effetti per il calore? Ovviamente non è tutta colpa dei DC

Risposta 2: Effetti ambientali di cambiamento climatico:

- ✓ Nel 1990 la **zanzara tigre** sbarcava a Genova, proveniente dall'oriente. Gli inverni miti a partire già dal 1991 le hanno consentito di attraversare gli Appennini ed arrivare in Pianura Padana.
- ✓ Nel 2012 (Loano SV) arrivava la Vespa Velutina, diffondendo nell'interno e creando seri danni agli apicoltori. Sopravvive agevolmente grazie agli inverni miti.



- ✓ **Afidi** che accelerano il metabolismo, **Ragnetto rosso**, **Mosca dell'olivo e della frutta** che invadono nuove aree più calde, **Cavallette** (si veda la Sardegna con la locusta del Marocco 2019-2024), **Bostrico dell'abete**, **Tripidi** e **Mosche bianche**, **Zecche** e **pulci**, **Pappataci** (Flebotomi) che diffondono la leishmaniosi.

- ✓ **Agricoltura**: Si stima che un aumento di 2°C possa incrementare le perdite globali dei raccolti di cereali principali (grano, riso, mais) tra il 19% e il 46%, poiché gli insetti diventano più numerosi e hanno un metabolismo più affamato.

Pianura padana? Pessima idea, ma siamo propositivi!

La pianura padana è il posto più sbagliato per i data center:

- ✓ Alti costi dell'energia e carenza di energia in Italia.
- ✓ Aree dismesse frammentate e disperse sul territorio.
- ✓ Territorio fragile per inquinamento già esistente (molteplici fonti).
- ✓ Fenomeno dell'inversione termica.
- ✓ Luogo poco ventoso.

Sono in difficoltà a suggerire forme di **mitigazione per la dispersione di calore perché nemmeno soluzioni ingegneristiche estreme possono aggirare le leggi della fisica.**

- ✓ Recuperare il calore sempre e comunque con scambio termico aria-acqua: **teleriscaldamento**.
- ✓ Ottenere più potenza di calcolo con meno energia attraverso la virtualizzazione e l'uso di **hardware ad alta efficienza energetica**.
- ✓ Impianti più piccoli, di potenza non superiore a 50 MW.
- ✓ Piantare milioni di alberi in pianura padana.

False soluzioni - uno sguardo critico preventivo!

1. **Tetti bianchi (*Cool Roofs*)**
   - ✓ ***L'illusione***: Riflettono il sole e azzerano l'effetto isola di calore del tetto.
   - ✓ ***La realtà***: Mitigano solo l'insolazione (albedo), ma non toccano i 374,4 MW antropici generati dai server interni ed espulsi dai ventilatori.

2. **Cinture verdi e semplici piantumazioni**
   - ✓ ***L'illusione***: Qualche fila di alberi attorno al perimetro assorbe il calore dell'impianto.
   - ✓ ***La realtà***: Le barriere alberate mitigano l'impatto visivo e acustico, ma la piuma termica scavalca la vegetazione e si estende per chilometri nel microclima locale.

3. **Raffreddamento evaporativo (torri evaporative)**
   - ✓ ***L'illusione***: Usare l'evaporazione dell'acqua abbassa la temperatura dell'aria in uscita.
   - ✓ ***La realtà***: Sposta il problema termico trasformandolo in un consumo colossale di risorse idriche e saturando di umidità l'aria, amplificando l'effetto "cappa" durante le inversioni termiche.

Data Center
e il calore
Adesso lo conosciamo

Grazie per l'attenzione!

Lacchiarella, 29 maggio 2026 - Sergio Manera (fisico)